การคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายน้ำจืดที่มีศักยภาพในการผลิตสารพอลิแซคคาไรด์

Screening of freshwater microalgae strains for polysaccharide production

ทวีทรัพย์ แสงนุภาพ
ทุติยาพร อู่เจริญ
บุษกร เจริญสุข

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม)
ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายน้ำจืดที่มีศักยภาพในการผลิตสารพอลิแซคคาไรด์

Screening of freshwater microalgae strains for polysaccharide production

ทวีทรัพย์ แสงนุภาพ
ทุติยาพร อู่เจริญ
บุษกร เจริญสุข

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม)
ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SCREENING OF FRESHWATER MICROALGAE STRIANS FOR POLYSACCHARIDE PRODUCTION

THAWEESAP SAENGNUPHAB
THUTIYAPHORN OUJARERN
BUDSAKORN CHAROENSUK

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL MICROBIOLOGY)
DEPARTMENT OF BIOLOGY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายน้ำจืดที่มีศักยภาพในการผลิตสารพอลิแซคคาไรด์ Screening of freshwater microalgae strains for polysaccharide production
ชื่อนักศึกษา	นายทวีทรัพย์ แสงนุภาพ รหัสนักศึกษา 56050999 นางสาวทุติยาพร อู่เจริญ รหัสนักศึกษา 56051002 นางสาวบุษกร เจริญสุข รหัสนักศึกษา 56051017
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	ชีววิทยา
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.วีนา ชูโชติ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.จิตติ ท่าไว ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.โชคชัย กิตติวงศ์วัฒนา กรรมการ	
ผศ.วีนา ชูโชติ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

149701

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายน้ำจืดที่มีศักยภาพในการผลิตสารพอลิแซคคาไรด์
ชื่อนักศึกษา	นายทวีทรัพย์ แสงนุภาพ รหัสนักศึกษา 56050999 นางสาวทุติยาพร อู่เจริญ รหัสนักศึกษา 56051002 นางสาวบุษกร เจริญสุข รหัสนักศึกษา 56051017
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	ชีววิทยา
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.วีนา ชูโชติ

บทคัดย่อ

คัดเลือกสาหร่ายน้ำจืดขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ที่มีการผลิตพอลิแซคคาไรด์ และอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดจากสาหร่ายขนาดเล็ก 15 สายพันธุ์ ที่เพาะเลี้ยงในระดับฟลาสก์ พบว่า *Chlorella* sp. A มีปริมาณพอลิแซคคาไรด์สูงที่สุด คือ 116.0640±4.11 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร รองลงมาคือ *Chlorococcum* sp. AB1 และ *Chlorella* sp. G มีปริมาณพอลิแซคคาไรด์ 108.3077±2.31 และ 70.4233±2.18 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ในการเพาะเลี้ยงระดับถังของระยะการแบ่งตัวแบบทวีคูณ จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณกรดไฮยาลูโรนิคในรูปกรดยูโรนิคเบื้องต้น ด้วยวิธีคาร์บาโซล พบว่า สายพันธุ์สาหร่ายที่มีปริมาณกรดไฮยาลูโรนิคสูงสุด คือ *Chlorococcum* sp. AB1 ที่สกัดด้วยเอทานอล มีค่าเท่ากับ 2.35±0.03 ไมโครกรัมกรดยูโรนิคต่อมิลลิกรัม การทดสอบคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่ความเข้มข้น 1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่า *Chlorococcum* sp. AB1 ที่สกัดด้วยน้ำ มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด คือ 42.0±1.26 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า *Chlorococcum* sp. AB1 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและไขมันสูงที่สุด ร้อยละ 70.4±0.64 และ 0.95±0.56 ตามลำดับ *Chlorella* sp. A มีปริมาณเถ้าสูงที่สุด ร้อยละ 13.59±0.06 และ *Chlorella* sp. G มีปริมาณโปรตีนและความชื้นสูงที่สุด ร้อยละ 40.3±0.12 และ 8.5±0.64 ตามลำดับ

คำสำคัญ : สาหร่ายขนาดเล็ก พอลิแซคคาไรด์ กรดไฮยาลูโรนิค คาร์บาโซล สารต้านอนุมูลอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Screening of freshwater microalgae strains for polysaccharide production
Students	Mr.Thaweesap Saengnuphab Student ID 56050999
	Miss Thutiyaphorn Oujarern Student ID 56051002
	Miss Budsakorn Charoensuk Student ID 56051017
Degree	Bachelor of Science (Industrial Microbiology)
Department	Biology
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2016
Advisor	Asst. Prof. Weena Choochote

Abstract

Three freshwater microalgae stains with the highest polysaccharides production and specific growth rate were selected from microalgae 15 stains. *Chlorella* sp. A had the highest content of polysaccharides at 116.0640±4.11. *Chlorococcum* sp. AB1 and *Chlorella* sp. G had a polysaccharides content of 108.3077±2.31 and 70.4233±2.18 micrograms per milliliter respectively during the exponential phase of cultivation in the six-liter bottle. The hyaluronic acid content of the primary uronic acid was determined by Carbazole assay. The highest ethanol extracts of *Chlorococcum* sp. AB1 was 2.35 ± 0.03 micrograms of uronic acid per milligrams. DPPH antioxidant capacity of 1000 micrograms per milliliter was tested. The highest water extracts of *Chlorococcum* sp. AB1 was 42.0%±1.26. Chemical compositions of *Chloroccum* sp. AB1 contained the highest lipid (70.4%±0.64) and carbohydrate (0.95%±0.56) contents. The highest ash level (13.59%±0.06) was found in *Chlorella* sp. A. *Chlorella* sp. G showed the highest percentage of protein (40.3%±0.12) and moisture (8.5%±0.64) contents.

Keywords : Microalgae, Polysaccharides, Hyaluronic acid, Carbazole, Antioxidant capacity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษได้จัดทำตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ซึ่งสำเร็จไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ผศ.วีนา ชูโชติ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษที่กรุณาให้คำแนะนำและให้ความรู้ในการค้นคว้า และดำเนินการวิจัยอีกทั้งความช่วยเหลือในด้านต่างๆ เพื่อให้โครงงานพิเศษเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. จิตติ ท่าไว ประธานกรรมการโครงงานพิเศษ และผศ.ดร. โชคชัย กิตติวงศ์วัฒนา กรรมการโครงงานพิเศษ ที่ให้คำแนะนำในเรื่องต่างๆ และการพิจารณาในโครงงานพิเศษเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และลุล่วงไปด้วยดี

โครงงานพิเศษนี้ สำเร็จเรียบร้อยได้ด้วยความเสียสละ ความอนุเคราะห์ และน้ำใจจากเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่านที่ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ทดลองต่างๆได้อย่างถูกต้อง

ในท้ายที่สุดนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดาที่ให้ความสนับสนุน และให้กำลังใจในการทำโครงงานพิเศษ พี่นักศึกษาปริญญาโท เพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้ความร่วมมือ และช่วยเหลือในการทำโครงงานพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ทวีทรัพย์ แสงนุภาพ
ทุติยาพร อู่เจริญ
บุษกร เจริญสุข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญรูป ..... ช
สารบัญตาราง..... ฌ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 สาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก 3
2.1.1 ลักษณะสำคัญของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก 4
2.1.2 รูปร่าง และการเคลื่อนที่ 4
2.1.3 การสืบพันธุ์ 4
2.1.4 แหล่งที่อยู่อาศัย 5
2.2 ลักษณะของสายพันธุ์สาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กที่ศึกษา 6
2.2.1 *Chlamydomonas* sp. 6
2.2.2 *Chlorella* sp. 7
2.2.3 *Scenedesmus* sp. 7
2.2.4 *Chlorococcum* sp. 8
2.3 การเพาะเลี้ยง และปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มผลผลิตของสาหร่ายขนาดเล็ก 9
2.3.1 รูปแบบการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก 9
2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มผลผลิตชีวมวลของสาหร่ายขนาดเล็ก 10
2.4 พอลิแซคคาไรด์ 11
2.4.1 พอลิแซคคาไรด์ที่สร้างโดยสาหร่าย 11
2.5 กรดไฮยาลูโรนิค 12
2.5.1 โครงสร้างของกรดไฮยาลูโรนิค 12
2.5.2 คุณสมบัติของกรดไฮยาลูโรนิค 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6 ประโยชน์ของสาหร่ายขนาดเล็ก 14
2.6.1 ประโยชน์จากองค์ประกอบของสาหร่ายขนาดเล็ก 14
2.6.2 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ 15
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 16
2.7.1 พอลิแซคคาไรด์กับสาหร่าย 16
2.7.2 คุณสมบัติและประโยชน์ของสารสกัดจากสาหร่าย 16
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง 19
3.1 สารเคมี 19
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ 19
3.3 สายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็กทั้งหมดที่ใช้ศึกษา 21
3.4 วิธีการทดลอง 22
3.4.1 การคัดแยกสายพันธุ์สาหร่ายน้ำจืดขนาดเล็ก 22
3.4.2 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก ในระดับฟลาสก์ 22
3.4.3 การวัดการเจริญของสาหร่าย 23
3.4.4 การทดสอบพอลิแซคคาไรด์ ด้วยวิธีฟีนอลซัลฟิวริก 23
3.4.5 การเพาะเลี้ยงเพื่อเพิ่มจำนวน ในระดับถัง 24
3.4.6 การเตรียมสารสกัดหยาบจากสาหร่าย 24
3.4.7 การสกัดพอลิแซคคาไรด์จากสาหร่าย 24
3.4.8 หาน้ำหนักแห้งของพอลิแซคคาไรด์ 25
3.4.9 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไฮยาลูโรนิคเบื้องต้น ด้วยวิธีคาร์บาโซล 25
3.4.10 ทดสอบคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) 25
3.3.11 ศึกษาองค์ประกอบสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ที่มีพอลิแซคคาไรด์สูงสุด 26
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล 28
4.1 ศึกษาการเจริญและการผลิตพอลิแซคคาไรด์ของสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็กในระดับฟลาสก์ 28
4.2 ศึกษาการเจริญและการผลิตพอลิแซคคาไรด์ของสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.1 ผลได้ร้อยละน้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่ายขนาดเล็กที่เพาะเลี้ยงในระดับถัง 39

4.4 ผลได้สารสกัดพอลิแซคคาไรด์ และผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไฮยาลูโรนิคเบื้องต้นด้วยวิธีคาร์บาโซล 41

4.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดหยาบสาหร่ายขนาดเล็ก..... 43

4.6 การศึกษาผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ที่มีพอลิแซคคาไรด์สูงสุด 45

บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ 47

5.1 สรุปผลวิจัย 47

5.2 ข้อเสนอแนะ 48

เอกสารอ้างอิง 49

ภาคผนวก 55

ภาคผนวก ก 56

ภาคผนวก ข 57

ภาคผนวก ค 66

ภาคผนวก ง 132

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างแหล่งที่อยู่อาศัยตามธรรมชาติของสาหร่ายขนาดเล็ก..... 5
รูปที่ 2.2 *Chlamydomonas* sp. 6
รูปที่ 2.3 *Chlorella* sp. 7
รูปที่ 2.4 *Scenedesmus* sp. 8
รูปที่ 2.5 *Chlorococcum* sp. 8
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของกรดไฮยาลูโรนิค 13
รูปที่ 4.1 สาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก (กำลังขยายภาพ 1000 เท่า) 30
รูปที่ 4.2 จำนวนเซลล์ของสาหร่ายขนาดเล็ก 15 สายพันธุ์ ในระดับฟลาสก์..... 31
รูปที่ 4.3 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 560 นาโนเมตร ของสาหร่ายขนาดเล็ก 15 สายพันธุ์ ในระดับฟลาสก์ 32
รูปที่ 4.4 น้ำหนักแห้ง ของสาหร่ายขนาดเล็ก 15 สายพันธุ์ ในระดับฟลาสก์..... 33
รูปที่ 4.5 ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ ของสาหร่ายขนาดเล็ก 15 สายพันธุ์ ในระดับฟลาสก์..... 34
รูปที่ 4.6 สาหร่าย *Chlorococcum* sp. AB_1 (กำลังขยายภาพ 1000 เท่า) 36
รูปที่ 4.7 สาหร่าย *Chlorella* sp. A (กำลังขยายภาพ 1000 เท่า) 36
รูปที่ 4.8 สาหร่าย *Chlorella* sp. G (กำลังขยายภาพ 1000 เท่า) 37
รูปที่ 4.9 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในถังเลี้ยงขนาด 6 ลิตร 37
รูปที่ 4.10 จำนวนเซลล์ของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง..... 38
รูปที่ 4.11 ค่าการดูดกลืนแสงของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง..... 38
รูปที่ 4.12 น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง..... 39
รูปที่ 4.13 ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ของสาหร่ายขนาดเล็กที่คัดเลือก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง..... 39
รูปที่ 4.14 ตะกอนเซลล์สาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ 40
รูปที่ 4.15 ผงตะกอนหลังบดละเอียดของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในถังขนาด 6 ลิตร ในวันที่ 8, 6 และ 6 ของการทดลอง ตามลำดับ..... 40
รูปที่ 4.16 ผลได้ (ร้อยละ) ของน้ำหนักสารสกัดหยาบโดยมวล (กรัมต่อกรัม) และปริมาณกรดไฮยาลูโรนิค (ไมโครกรัมกรดยูโรนิคต่อมิลลิกรัม) จากสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ที่สกัดด้วยน้ำและเอทานอล 42
รูปที่ 4.17 การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไฮยาลูโรนิคเบื้องต้น ด้วยวิธีคาร์บาโซล 43
รูปที่ ข-1 (1) ลักษณะของฮีมาไซโตมิเตอร์ และ (2) ลักษณะช่องบนฮีมาไซโตมิเตอร์ 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ข-2 กราฟมาตรฐานสารละลายกลูโคส (Glucose standard curve) 60
รูปที่ ข-3 กราฟมาตรฐานสารละลายดีกลูโคโรโนแลคโทน ((D-Glucuronolactone standard curve) 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ข้อจำกัดของรูปแบบของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก 9

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างร้อยละโดยน้ำหนักแห้งขององค์ประกอบทางเคมีในสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็กต่างๆ 15

ตารางที่ 3.1 สายพันธุ์สาหร่ายที่คัดแยกได้จากแหล่งน้ำธรรมชาติ 21

ตารางที่ 3.2 สายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็กที่ได้จากห้องปฏิบัติการสาหร่าย 21

ตารางที่ 4.1 ค่าอัตราการเจริญจำเพาะ (ต่อวัน) และปริมาณพอลิแซคคาไรด์ของสาหร่ายขนาดเล็กจำนวน ในช่วงวันที่ 6-10 ของการเพาะเลี้ยง 28

ตารางที่ 4.2 ค่าอัตราการเจริญจำเพาะ (ต่อวัน) และปริมาณพอลิแซคคาไรด์ของสาหร่ายขนาดเล็ก จำนวน 3 สายพันธุ์ ในช่วงวันที่ 6 และ 8 ของการเพาะเลี้ยง 35

ตารางที่ 4.3 น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ที่คัดเลือก 40

ตารางที่ 4.4 ปริมาณกรดไฮยาลูโรนิค และผลได้ (ร้อยละ) ของสารสกัดพอลิแซคคาไรด์ที่สกัดด้วยน้ำและเอทานอลจากสาหร่ายขนาดเล็กที่คัดเลือก 3 สายพันธุ์ 41

ตารางที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัดที่ใช้กับร้อยละการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กที่มีปริมาณไฮยาลูโรนิคมากที่สุด 2 สายพันธุ์ ที่สกัดด้วยน้ำและเอทานอล 44

ตารางที่ 4.6 ร้อยละขององค์ประกอบเคมีของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ 45

ตารางที่ ข-1 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 490 นาโมเมตร ของสารละลายกลูโคสมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ 59

ตารางที่ ข-2 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 530 นาโนเมตร ของสารละลายมาตรฐานดีกลูคูโรโนแลคโทน ที่ความเข้มข้นต่างๆ 61

ตารางที่ ค-1 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร ในการวัดอัตราการเจริญของสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็ก 15 สายพันธุ์ ในระดับฟลาสก์..... 66

ตารางที่ ค-2 น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร) ในการวัดอัตราการเจริญของสาหร่ายขนาดเล็ก 15 สายพันธุ์ ในระดับฟลาสก์..... 81

ตารางที่ ค-3 จำนวนเซลล์สาหร่าย (เซลล์ต่อมิลลิลิตร) ในการวัดค่าอัตราการเจริญของสาหร่ายขนาดเล็ก 15 สายพันธุ์ ในระดับฟลาสก์ 86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ค-4 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 490 นาโนเมตร ของสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็ก 15 สายพันธุ์ ในระดับฟลาสก์ ในการวิเคราะห์ปริมาณพอลิแซคคาไรด์เบื้องต้น ด้วยวิธีฟีนอลซัลฟิวริก 101
ตารางที่ ค-5 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 560 นาโนเมตร ในการวัดอัตราการเจริญของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง 116
ตารางที่ ค-6 น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร) ในการวัดอัตราการเจริญของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง 119
ตารางที่ ค-7 จำนวนเซลล์สาหร่าย (เซลล์ต่อมิลลิลิตร) ในการวัดค่าอัตราการเจริญของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง 120
ตารางที่ ค-8 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร ของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง ในการวิเคราะห์ปริมาณพอลิแซคคาไรด์เบื้องต้นด้วยวิธีฟีนอลซัลฟิวริก 123
ตารางที่ ค-9 ผลได้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในระดับถัง 126
ตารางที่ ค-10 ผลได้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งสารสกัดพอลิแซคคาไรด์ของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ที่สกัดด้วยน้ำและเอทานอล 126
ตารางที่ ค-11 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 530 นาโนเมตร ในการวิเคราะห์ปริมาณกรดไฮยาลูโรนิคเบื้องต้น ในรูปกรดยูโรนิค ด้วยวิธีคาร์บาโซล ของสารสกัดสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ 127
ตารางที่ ค-12 ผลได้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักฟลาสก์ก้นกลม ในการวิเคราะห์ปริมาณไขมันทั้งหมดของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ 127
ตารางที่ ค-13 ผลได้ค่าเฉลี่ยปริมาตรกรดซัลฟิวริกที่ไทเทรต ในการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนทั้งหมดของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ 128
ตารางที่ ค-14 ผลได้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักภาชนะอลูมิเนียม ในการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นทั้งหมดของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์..... 128
ตารางที่ ค-15 ผลได้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักถ้วยกระเบื้องเคลือบ ในการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าทั้งหมดของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์..... 128
ตารางที่ ค-16 ผลได้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์..... 129
ตารางที่ ค-17 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร ในการวิเคราะห์การทดสอบคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH 130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ง-1 ค่าทางสถิติเปรียบเทียบผลได้ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ของสาหร่าย
ขนาดเล็ก 15 สายพันธุ์ ในระดับฟลาสก์ 132
ตารางที่ ง-2 ค่าทางสถิติเปรียบเทียบผลได้ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ของสาหร่าย
ขนาดเล็กจำนวน 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง..... 135
ตารางที่ ง-3 ค่าทางสถิติเปรียบเทียบผลได้ร้อยละน้ำหนักแห้ง โดยมวลของสาหร่าย
ขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง 137
ตารางที่ ง-4 ค่าทางสถิติเปรียบเทียบร้อยละของสารสกัดหยาบด้วยน้ำและเอทานอล
ของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง 138
ตารางที่ ง-5 ค่าทางสถิติเปรียบเทียบร้อยละผลได้ปริมาณไฮยาลูโรนิคของสาหร่าย
ขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง 140
ตารางที่ ง-6 ค่าทางสถิติจากผลการวิเคราะห์การทดสอบคุณสมบัติการเป็น
สารต้านอนุมูลอิสระ (DPPH)..... 142
ตารางที่ ง-7 ค่าทางสถิติจากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย
ขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง 143
ตารางที่ ง-8 ค่าทางสถิติจากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีไขมันของสาหร่าย
ขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง 145
ตารางที่ ง-9 ค่าทางสถิติจากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีโปรตีนของสาหร่าย
ขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง 146
ตารางที่ ง-10 ค่าทางสถิติจากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีความชื้นของสาหร่าย
ขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง 148
ตารางที่ ง-11 ค่าทางสถิติจากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีเถ้าของสาหร่าย
ขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง 149

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันนี้ปัญหาทางด้านสุขภาพ และความเครียดเกิดจากสภาวะการณ์รอบด้านของสังคมในยุคสมัยปัจจุบัน อันได้แก่ มลภาวะ สภาพแวดล้อม การแข่งขัน สังคม เศรษฐกิจ หรือแม้กระทั่งครอบครัว ล้วนเป็นอิทธิพลที่สำคัญอันจะส่งผลกระทบต่อสภาวะอารมณ์ ความรู้สึก พฤติกรรมและสุขภาพ ความเครียดจึงเป็นศูนย์กลางที่เชื่อมโยงทุกระบบของร่ายกาย เมื่อเกิดสภาวะความเครียดความวิตกกังวลก็จะมีผลทำให้สภาพร่างกายทรุดโทรม อ่อนเพลีย เหนื่อยล้าง่าย ผิวหมองคล้ำไม่สดใส ตลอดจนการมีสุขภาพที่ย่ำแย่ลง ดังนั้นเทคโนโลยีทางด้านความงามและยาจึงได้รับการพัฒนาเป็นอย่างมาก เพื่อการตอบสนองและยังเป็นการตระหนักถึงปัญหาทางด้านสุขภาพที่เกิดขึ้น โดยมีการคิดค้นสารทางชีวภาพหลากหลายรูปแบบเพื่อใช้ทดแทนสารเคมี ซึ่งอาจเหลือเป็นสารตกค้างภายในร่างกาย หรืออาจก่อตัวเรื้อรัง สะสมในระยะยาวและส่งผลกระทบต่อระบบร่างกายในที่สุด

สาหร่ายขนาดเล็กจัดเป็นจุลินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เพื่อการผลิตเครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและยา สาหร่ายขนาดเล็กสามารถควบคุมการเพาะเลี้ยงได้ง่าย พบได้อย่างแพร่หลายทุกพื้นที่ที่แสงสามารถส่องถึง อีกทั้งมีศักยภาพในการผลิตสารประกอบที่มีคุณค่า (Morton และ Agatonovic-Kustrin, 2013) ได้แก่ กลุ่มสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านออกซิเดชัน ต้านการตายของเซลล์ ต้านสารก่อมะเร็ง ต้านการอักเสบ ต้านโรคหลอดเลือดแดงตีบตัน ป้องกันโรคหัวใจ และป้องกันเนื้อเยื่อจากการถูกทำลายด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระในร่างกายได้ (Butkhup, 2012) และสารให้ความชุ่มชื้นในกลุ่มของพอลิแซคคาไรด์ซึ่งปัจจุบันมีราคาที่สูง มักถูกใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ส่วนมากได้จากกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี เช่น กรดไฮยาลูโรนิค (Hyaluronic acid) โพรไพลีนไกลคอล (Propylene Glycol) และกลีเซอรีน (Glycerine) ซึ่งมีคุณสมบัติของการเป็นสารให้ความชุ่มชื้น (Moisturizer) จะทำให้ผิวหน้าดูอ่อนเยาว์เรียบเนียน ริ้วรอยแลดูลดลง มีความยืดหยุ่น และดูมีชีวิตชีวา

ดังนั้นโครงงานพิเศษนี้จึงคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายน้ำจืดขนาดเล็ก ที่มีความสามารถในการผลิตสารให้ความชุ่มชื้นในกลุ่มของสารพอลิแซคคาไรด์ และศึกษาประสิทธิภาพของสารที่สกัดได้ รวมถึงการวิเคราะห์เปรียบเทียบวิธีการสกัดที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ปริมาณพอลิแซคคาไรด์สูงสุด วิเคราะห์ปริมาณกรดไฮยาลูโรนิคเบื้องต้น ศึกษาคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) และศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายขนาดเล็ก เพื่อเป็นข้อมูลในการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) คัดเลือกสายพันธุ์ของสาหร่ายน้ำจืดที่มีศักยภาพในการผลิตพอลิแซคคาไรด์ที่มีปริมาณสูง
2) ศึกษาและเปรียบเทียบวิธีการสกัดสารพอลิแซคคาไรด์ให้ได้ปริมาณสูงสุด
3) ศึกษาองค์ประกอบของเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ที่มีพอลิแซคคาไรด์มากที่สุด ได้แก่ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เถ้า และความชื้น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) เก็บตัวอย่างจากแหล่งน้ำต่างๆ เพื่อคัดแยกสายพันธุ์สาหร่ายจนได้สายพันธุ์ที่บริสุทธิ์
2) เปรียบเทียบวิธีการสกัดสารพอลิแซคคาไรด์ที่สกัดด้วยตัวทำละลายน้ำ และเอทานอล
3) ทดสอบพอลิแซคคาไรด์เบื้องต้นด้วยวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ด้วยปฏิกิริยา Phenol-sulfuric acid assay
4) หาน้ำหนักแห้งของพอลิแซคคาไรด์
5) วิเคราะห์ปริมาณกรดไฮยาลูโรนิคเบื้องต้น ด้วยวิธีคาร์บาโซล
6) ทดสอบคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ด้วยวิธีการวิเคราะห์การเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (DPPH)
7) หาองค์ประกอบทางเคมีของเซลล์สาหร่ายสายพันธุ์ที่มีปริมาณพอลิแซคคาไรด์สูงสุด ได้แก่ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เถ้า และความชื้น เป็นต้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) สามารถคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายน้ำจืดขนาดเล็กที่มีศักยภาพในการผลิตสารให้ความชุ่มชื้นในกลุ่มของสารพอลิแซคคาไรด์สูงสุด และมีอัตราการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว
2) ทราบวิธีการสกัดสารพอลิแซคคาไรด์ที่ได้ปริมาณสูงสุด
3) สามารถวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณกรดไฮยาลูโรนิคเบื้องต้น ได้ด้วยวิธีคาร์บาโซล
4) ทราบถึงคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสายพันธุ์สาหร่ายน้ำจืดขนาดเล็ก
5) เก็บรวบรวมผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพื้นฐานของสายพันธุ์น้ำจืดขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ที่มีศักยภาพในการผลิตสารพอลิแซคคาไรด์สูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก

สาหร่ายขนาดเล็กเป็นสิ่งมีชีวิตประเภทจุลินทรีย์ สามารถเจริญเติบโตได้ดีทุกสภาวะแวดล้อม มีลักษณะโครงสร้างของเซลล์ การผลิตสารอินทรีย์ และอาหารสะสมที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปภายในเซลล์สาหร่ายประกอบด้วยสารอาหารประเภทโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และรงควัตถุ สาหร่ายขนาดเล็กจัดเป็นแหล่งผลิตสารธรรมชาติที่มีคุณค่าทางโภชนาการ สามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 2 กลุ่ม คือโปรคาริโอต (Prokaryote) ได้แก่ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Blue-green algae หรือ Cyanobacteria) และยูคาริโอต (Eukaryote) ได้แก่ สาหร่ายสีเขียว (Green algae) สาหร่ายสีแดง (Red algae) และไดอะตอม (Diatoms) (Noue และ Pauw, 1988)

การใช้ประโยชน์ของสาหร่ายขนาดเล็ก มี 2 รูปแบบ คือ ใช้ผลิตเป็นอาหาร และใช้ในเชิงพาณิชย์ โดยสาหร่ายขนาดเล็กที่นำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับการบริโภค ได้แก่ สาหร่ายสีเขียวในสกุล *Chlorella, Scenedesmus* สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในสกุล *Spirulina* เป็นต้น สำหรับสาหร่ายขนาดเล็กที่เป็นที่สนใจในการนำมาใช้ทางการค้า โดยเฉพาะการใช้ประโยชน์ทางด้านการผลิตอาหารสำหรับสัตว์ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และอาหารเสริมสุขภาพ ได้แก่ สาหร่ายสีเขียวในสกุล *Dunaliella* สาหร่ายสีแดงในสกุล *Porphyridium* และสาหร่ายสีเขียวในสกุล *Botryococcus* (Noue และ Pauw, 1988) และในด้านยาฏิชีวนะสารสกัด chlorellin ที่ได้จาก *Chlorella vulgaris* สามารถสร้างสารต้านแบคทีเรีย (Tanaka และคณะ, 1986) สารต้านไวรัส (Schaeffer และ Krylov, 2000) สารยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็ง (Chen และคณะ, 2003) และสามารถสร้างสารสีแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Gouveia และ Empis, 2003) เป็นต้น

สำหรับแหล่งที่อยู่ของสาหร่ายขนาดเล็ก ส่วนใหญ่พบแพร่กระจายได้ตามแหล่งน้ำธรรมชาติทั่วไป ทั้งในน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม โดยรูปแบบการดำรงชีวิตของสาหร่ายขนาดเล็กสามารถดำรงได้หลายรูปแบบ ตัวอย่างเช่น การดำรงชีวิตแบบแพลงก์ตอน โดยการล่องลอยอย่างอิสระในน้ำ และการดำรงชีวิตแบบยึดเกาะกับพื้นผิวแหล่งน้ำหรือวัสดุต่างๆ เช่น ท่อนไม้ ก้อนหิน นอกจากนี้ยังสามารถพบสาหร่ายได้ในสภาพแวดล้อมวิกฤตต่างๆ เช่น ในน้ำพุร้อน หิมะ หรือแม้กระทั่งบนพื้นดินที่มีความชื้นสูง

สาหร่ายขนาดเล็กมีกระบวนการสังเคราะห์แสงที่คล้ายคลึงกับพืชชั้นสูงแบบออโตโทรฟิค (Autotrophic) สามารถสร้างอาหารเองได้จากการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้สาหร่ายขนาดเล็กหลายชนิดยังสามารถดำรงชีวิตได้ทั้งแบบออโตโทรฟิค และแบบเฮเทอโรโทรฟิค (Heterotrophic) คือไม่สามารถสร้างอาหารเองได้ ต้องการอินทรียสารจากสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เป็นแหล่งคาร์บอนเพื่อใช้ในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจริญเติบโต หรือในบางชนิดอาจดำรงชีวิตแบบเฮเทอโทรฟิคได้เพียงอย่างเดียว นั้นทำให้สาหร่ายเป็นผู้ผลิตที่มีประโยชน์อย่างยิ่งในห่วงโซ่อาหาร และต่อระบบนิเวศ

ลักษณะสำคัญของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก

สาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก มีคลอโรพลาสต์เป็นออร์แกเนลล์ทำหน้าที่สำหรับการสังเคราะห์แสง โดยมีรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง ประกอบด้วยคลอโรฟิลล์เอและบี แคโรทีนอยด์ (Carotenoid) แบ่งเป็น 2 ชนิด ชนิดแรกคือ แคโรทีน (Carotein) ได้แก่ แอลฟา-แคโรทีน (α-Carotene) เบต้า-แคโรทีน (β-Carotene) และ แกรมม่า-แคโรทีน (γ-Carotene) ชนิดที่สองคือ แซนโทฟิลล์ (Xanthophyll) ได้แก่ ลูทีน (Lutein) ไวโอลาแซนทิน (Violaxanthin) และนีโอแซนทิน (Neoxanthin) โดยที่รงควัตถุเหล่านี้จะบรรจุอยู่ภายในคลอโรพลาสต์ซึ่งมีรูปร่างหลายแบบ ได้แก่ คลอโรพลาสต์รูปถ้วย (Cup shape chloroplast) คลอโรพลาสต์รูปเกือกม้า (Girdle shape chloroplast) คลอโรพลาสต์รูปตาข่าย (Reticulate chloroplast) คลอโรพลาสต์ขดเป็นเกลียว (Spiral chloroplast) คลอโรพลาสต์แฉกรูปดาว (Stellate chloroplast) และคลอโรพลาสต์แถบ (Band shape chloroplast) เป็นต้น อาหารสะสมส่วนใหญ่เป็นแป้งจำพวกอะไมโลส (Amylose) และอะไมโลแพคติน (Amylopactin) สะสมอยู่ภายในไพรีนอยด์ (Pyrenoid) ซึ่งอยู่บนคลอโรพลาสต์ (ลัดดา, 2542)

รูปร่าง และการเคลื่อนที่

สาหร่ายเขียวขนาดเล็กมีรูปร่างหลายแบบ ได้แก่

1. เซลล์เดี่ยว (Unicell) คือ มักพบลอยอยู่ในน้ำ เซลล์มีรูปร่างรี จนถึงกลม ตัวอย่างของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กเซลล์เดียว ได้แก่ *Chlamydomonas* sp. และ *Chlorella* sp. เป็นต้น

2. โคโลนี (Colony) คือ กลุ่มของสาหร่ายชนิดเดียวกันหลายๆเซลล์อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม ตัวอย่างของสาหร่ายขนาดเล็กที่เกาะกันเป็นโคโลนี ได้แก่ *Volvox* sp. และ *Scenedesmus* sp. เป็นต้น

3. เส้นสาย (Filamentous) คือ สาหร่ายสีเขียวที่มีลักษณะเป็นเส้นเกิดจากการเรียงตัวต่อกันเป็นสายยาว ตัวอย่างสาหร่ายสีเขียวที่ลักษณะเป็นเส้นสาย ได้แก่ *Spirogyra* sp. และ *Cladophora* sp. เป็นต้น

การสืบพันธุ์

การสืบพันธุ์ของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กมีทั้งการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัย ได้แก่ การแบ่งเซลล์ การสร้างอะคินีท (Akinete) และการสร้างสปอร์ (Sporulation) ซึ่งมักเกิดขึ้นเมื่อสภาพแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน (ประยูร และคณะ, 2555) สปอร์มีหลายชนิด ได้แก่

1. ซูโอสปอร์ (Zoospore) คือ สปอร์ที่ไม่มีผนังเซลล์ และสามารถเคลื่อนที่ได้ เนื่องจากมีแฟลกเจลลา โดยแฟลกเจลลาอาจมี 2-4 หรือมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อะพลาโนสปอร์ (Aplanospore) คือ สปอร์ที่มีผนังเซลล์เป็นสารจำพวกเซลลูโลส และเคลื่อนที่ไม่ได้ เนื่องจากไม่มีแฟลกเจลลา เมื่อสปอร์ถูกปล่อยออกจากเซลล์จะไม่มีถุงหุ้ม

3. ฮิปโนสปอร์ (Hypnospore) คือ อะพลาโนสปอร์ที่มีผนังหนามาก

4. ออโตสปอร์ (Autospore) คือ สปอร์ที่มีลักษณะที่เหมือนเซลล์แม่ทุกประการ ซึ่งถ้าโคโลนีที่มีลักษณะเหมือนโคโลนีแม่จะถูกเรียกว่า ออโตโคโลนี (Autocolony)

การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศจะมีการรวมตัวของแกมีท 3 รูปแบบ ได้แก่

1. ไอโซแกมี (Isogamy) คือ ลักษณะการรวมแกมีทของเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้กับเพศเมียที่มีรูปร่างเหมือนกันและขนาดเท่ากัน

2. แอนไอโซแกมี (Anisogamy) คือ ลักษณะการรวมแกมีทของเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้และเพศเมียที่มีลักษณะเหมือนกัน แต่มีขนาดต่างกัน โดยที่ส่วนใหญ่นั้นแกมีทเซลล์สืบพันธุ์เพศเมียมักมีขนาดใหญ่กว่าเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้

3. โอโอแกมี (Oogamy) คือ ลักษณะการรวมแกมีทของเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ และเพศเมีย ที่มีขนาดและรูปร่างต่างกัน โดยที่ส่วนใหญ่นั้นเซลล์สืบพันธุ์เพศเมียจะมีขนาดใหญ่และเคลื่อนที่ไม่ได้ (Non-flagellate gamete) เรียกว่า ไข่ (Egg) ส่วนแกมีทเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้มีขนาดเล็ก สามารถเคลื่อนที่ได้ (Flagellate gamete) เรียกว่า แอนเทอโรซอยด์ (Antherozoid)

แหล่งที่อยู่อาศัย

สาหร่ายขนาดเล็กสามารถเจริญได้ทุกที่ที่มีความชื้นเพียงพอ พบได้ทั้งในแหล่งน้ำจืด เช่น คลอง (รูปที่ 2.1) น้ำกร่อย น้ำเค็มบ้างเล็กน้อย และในที่ชื้นแฉะ เช่น บนเปลือกไม้ ใบไม้ หรือบนก้อนหิน เมื่อมีความชื้นน้อย สาหร่ายขนาดเล็กจะมีการคงสภาพพักตัวไว้ (Dormant) จนกระทั่งเมื่อมีปริมาณความชื้นที่สูงเพียงพอจึงจะสามารถเจริญเติบโตได้ดี การเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็กขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และความอุดมสมบูรณ์ของอินทรียสารในแหล่งน้ำนั้น ทำให้สาหร่ายขนาดเล็กมีความต่างกันทางชีวภาพสูงมาก ยกตัวอย่างเช่น สาหร่ายขนาดเล็กบางชนิดอาศัยโดยการพึ่งพาอาศัยกัน (Symbiosis) กับเห็ดรา ตัวอย่างเช่น ไลเคน และบางชนิดเป็นปรสิต (Parasite) ในพืชชั้นสูง

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างแหล่งที่อยู่อาศัยตามธรรมชาติของสาหร่ายขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ลักษณะของสายพันธุ์สาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กที่ศึกษา

2.2.1 *Chlamydomonas* sp.

อนุกรมวิธาน

Division Chlorophyta

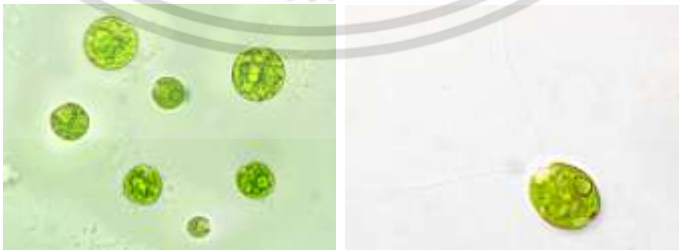
Class Chlorophyceae

Order Volvocales

Family Chlamydomonadaceae

Genus *Chlamydomonas*

ลักษณะเป็นสาหร่ายเซลล์เดี่ยว รูปร่างกลม หรือคล้ายกระสวย ขนาดยาวประมาณ 10 ไมโครเมตร และกว้างประมาณ 3 ไมโครเมตร เคลื่อนที่ได้โดยการใช้แฟลกเจลลา มีคลอโรพลาสต์ขนาดใหญ่ประมาณร้อยละ 40 ของเซลล์ (Rochaix, 1995) มีอายสปอต (Eye spot) อยู่บริเวณขอบด้านหนึ่งของคลอโรพลาสต์ (รูปที่ 2.1) ทำหน้าที่เป็นส่วนช่วยในการรับแสง และทำให้เซลล์สามารถรับรู้ว่าควรเคลื่อนไปในทิศทางใด การแบ่งเซลล์ของแคลมิโดโมแนส จะเริ่มจากเซลล์ในสภาพแฮพลอยด์ มีการแบ่งเซลล์ไมโทซิสทุกๆ 8 ชั่วโมง เมื่อมีสภาวะการเจริญที่ไม่เหมาะสม เซลล์จะเข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนเป็นเซลล์สืบพันธุ์ (Gametogenesis) โดยแต่ละเซลล์จะมีการสร้าง mating ring ประกอบด้วยโปรตีนแอกติน (Actin) อยู่ใต้เยื่อหุ้มเซลล์ หลังจากนั้นจะหลั่ง Agglutinin ซึ่งเป็นสารจำพวกไกลโคโปรตีนเพื่อกระตุ้นการจับกันของแฟลกเจลลาระหว่างเซลล์ที่มี Mating type ตรงข้ามกัน โดยเริ่มจากการใช้ปลายของแฟลกเจลลามาแตะกัน จนกระทั่งปลายของทั้งสองเซลล์สานเข้าด้วยกัน ทำให้ทั้งสองเซลล์เข้ามาอยู่ชิดกัน และหลั่งเอนไซม์ Autolysin เพื่อย่อยผนังเซลล์ ทำให้สามารถรวมตัวกันกลายเป็นเซลล์เดียวที่มีแฟลกเจลลา 4 สาย เมื่อแฟลกเจลลาสลายไป เซลล์จะสร้างผนังเซลล์ที่มีความหนาเป็นพิเศษเพื่อป้องกันไซโกตซึ่งอยู่ในรูปของดิพลอยด์ และเมื่อสภาวะแวดล้อมเหมาะสม ไซโกตจะแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส เกิดเป็นเซลล์แฮพลอยด์ 4 เซลล์ ซึ่งแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสต่อไป (Harris, 2001)



รูปที่ 2.2 *Chlamydomonas* sp.

ที่มา : http://cfb.unh.edu/phycokey/Choices/Chlorophyceae/unicells/flagellated/CHLAMYDOMONAS/Chlamydomonas_Image_page.html.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 *Chlorella* sp.

อนุกรมวิธาน

Division Chlorophyta

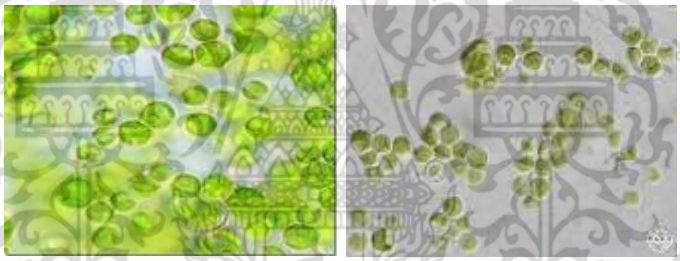
Class Chlorophyceae

Order Chlorococcales

Family Oocystaceae

Genus *Chlorella*

มีลักษณะเป็นเซลล์เดียวขนาดเล็กหรือรวมกันเป็นกลุ่มก้อน รูปร่างกลม หรือรูปไข่ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 4-10 ไมโครเมตร ไม่มีแฟลกเจลลา คลอโรพลาสต์มีรูปร่างคล้ายถ้วยหรือแบบแถบข้าง (Parietal) (รูปที่ 2.2) ประกอบไปด้วยคลอโรฟิลล์เอและบี เพื่อการสังเคราะห์แสง อาจมีหรือไม่มีไพรีนอยด์ (Kuhl และ Lorenzen, 1963) โดยทั่วไป *Chlorella* sp. มีการดำรงชีวิตอย่างอิสระพบได้ในแหล่งน้ำจืด น้ำเค็ม และบางชนิดอาศัยอยู่ร่วมกับสิ่งมีชีวิตอื่นแบบซิมไบโอซิส (Symbiosis) ตัวอย่างเช่น ฟองน้ำ ไฮดรา โปรโตซัว เป็นต้น สืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศโดยการสร้างออโตสปอร์ (Autospore) จำนวน 2, 4, 6, 8 และ 16 จำนวนของออโตสปอร์



รูปที่ 2.3 *Chlorella* sp.

ที่มา : http://dogaltedavi.net/f388/chlorella_forte_ chlorella_vulgaris_chlorella_ pyrenoidosa_tatli_su_yosunu-13664 html.

2.2.3 *Scenedesmus* sp.

อนุกรมวิธาน

Division Chlorophyta

Class Chlorophyceae

Order Chlorococcales

Family Scenedesmaceae

Genus *Scenedesmus*

ลักษณะเป็นกลุ่มเซลล์สีเขียวใบไม้จำนวน 2, 4, 8 และ 16 เซลล์ที่เรียงตัวต่อกันตามแนวด้านยาวของเซลล์ แต่ละเซลล์มีรูปร่างเป็นกระสวยแหลมหัวแหลมท้าย รูปไข่ แบนโค้ง หรือพระจันทร์เสี้ยวคันธนู ผนังเซลล์เรียบและมีหนามแหลม (Spine) บริเวณเซลล์ที่อยู่ด้านริมสุดทั้งสองข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีคลอโรพลาสต์จัดเรียงตัวตามยาวหรือโดยรอบของเซลล์ (รูปที่ 2.3) มีไพรีนอยด์ 1 อัน โดยทั่วไป *Scenedesmus* sp. จะดำรงชีวิตแบบล่องลอยอิสระในแหล่งน้ำนิ่งและน้ำไหลเอื้อย หรือดำรงชีวิตแบบยึดเกาะ สืบพันธุ์ได้ทั้งแบบไม่อาศัยเพศโดยการสร้างออโตสปอร์และสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศโดยการสร้างแกมีทที่มีการผสมกันแบบไอโซแกมีท (ประยูร และคณะ, 2555)

รูปที่ 2.4 *Scenedesmus* sp.

ที่มา : http://www.microscopy-uk.org.uk/mag/indexmag.html

2.2.4 *Chlorococcum* sp.

อนุกรมวิธาน

Division Chlorophyta

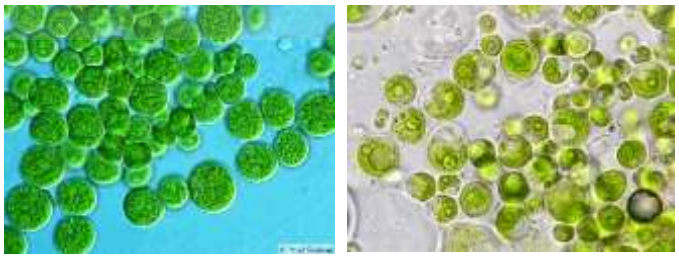
Class Chlorophyceae

Order Chroococcales

Family Chroococcaceae

Genus *Chroococcum*

สาหร่ายสีเขียว *Chroococcum* sp. เป็นสาหร่ายน้ำจืด เซลล์อาจมีหลายขนาด รูปร่างกลม ตอนเซลล์อายุน้อยจะมีผนังเซลล์บาง (รูปที่ 2.4) และจะค่อยๆหนาขึ้นเมื่อเซลล์เริ่มแก่ตัว คลอโรพลาสต์เป็นรูปถ้วยอยู่ด้านข้างเซลล์อย่างหนาแน่น มีไพรีนอยด์ 1 อันหรือหลายอัน เมื่อเซลล์แก่ตัวจะมีคลอโรพลาสต์จะลดลง พบการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศโดยการสร้างซูโอสปอร์ที่มีแฟลกเจลลา 2 เส้น และการสืบพันธุ์แบบอาศับเพศ มีการสร้างไอโซแกมีท ในบางสภาวะมีการสร้างอะพลาโนสปอร์ ซึ่งในที่สุดจะมีการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ที่มีแฟลกเจลลา 2 เส้น (วันเพ็ญ, 2549)



รูปที่ 2.5 *Chlorococcum* sp.

ที่มา : http://materiais.dbio.uevora.pt/ Micro/slides/13/51.html.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การเพาะเลี้ยง และปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มผลผลิตของสาหร่ายขนาดเล็ก

2.3.1 รูปแบบการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก

รูปแบบของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กมี 2 รูปแบบ ได้แก่ การเพาะเลี้ยงในบ่อเปิด และการเพาะเลี้ยงโดยใช้ถังปฏิกรณ์ ซึ่งมีหลายลักษณะ เช่น แบบแนวตั้ง แนวราบ และทรงกระบอก เป็นต้น โดยข้อดี และข้อจำกัดของการเพาะเลี้ยงมีรูปแบบที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ในการเพาะเลี้ยง ชนิดของสาหร่าย และสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเพิ่มผลผลิตชีวมวลของสาหร่ายแต่ละสายพันธุ์ รวมทั้งสภาพแวดล้อมของพื้นที่ที่จะใช้ในการเพาะเลี้ยง ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อจำกัดของรูปแบบของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก (Ugwu และคณะ, 2008)

	รูปแบบการเพาะเลี้ยง	ข้อดี	ข้อกำจัด
ในธรรมชาติ	บ่อเปิด (Open ponds)	- เหมาะสำหรับการเพาะเลี้ยงเชิงธุรกิจ เนื่องจากสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ดีในปริมาณมาก - ทำความสะอาดพื้นที่เพาะเลี้ยงได้ง่ายภายหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิต	- ต้องควบคุมสภาวะที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง - ต้องการพื้นที่ในการเพาะเลี้ยง - ผลผลิตต่ำ - เกิดการปนเปื้อนในระหว่างการเพาะเลี้ยงได้ง่าย - การเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลานานๆ ทำได้ยาก
ในห้องปฏิบัติการ	ถังปฏิกรณ์แบบแนวตั้ง (Vertical-column photobioreactors)	- ใช้พลังงานน้อย - ควบคุมสภาวะต่างๆได้ง่าย เช่น อุณหภูมิ และปัจจัยยับยั้งที่จะมีผลต่อการเพาะเลี้ยง - เกิดการผสม และการเคลื่อนที่ของชีวมวลได้ดี	-พื้นที่ผิวที่ส่องแสงผ่านมีน้อย -มีความยุ่งยากในการสร้างถังเพาะเลี้ยง -พื้นที่ผิวที่แสงส่องผ่านจะลดลงหากทำการเพาะเลี้ยงในขนาดที่ใหญ่ขึ้น
	ถังปฏิกรณ์แบบแนวราบ (Flat-plate photobioreactors)	- มีพื้นที่ผิวในการสังเคราะห์แสงมาก เนื่องจากแสงส่องได้ดี เหมาะสำหรับการเพาะเลี้ยงภายนอกห้อง - ได้ผลผลิตในปริมาณที่สูง - ทำความสะอาดง่าย และค่าใช้จ่ายต่ำ - ต้องการออกซิเจนสำหรับการเพาะเลี้ยงน้อย	- ต้องการวัสดุ และส่วนประกอบหลายอย่างในการสร้างถังปฏิกรณ์ที่มีขนาดใหญ่ - ควบคุมอุณหภูมิในการเพาะเลี้ยงยาก - อาจมีการเจริญบริเวณผนังของถังปฏิกรณ์
	ถังปฏิกรณ์แบบทรงกระบอก หรือแบบท่อ (Tubular photobioreactors)	- มีพื้นที่ผิวในการสังเคราะห์แสงมาก เหมาะสำหรับการเพาะเลี้ยงภายนอกห้อง - ได้ผลผลิตชีวมวลในปริมาณหนึ่ง - ค่าใช้จ่ายต่ำ	- อุดตันได้ง่าย - อาจมีการเจริญบริเวณผนังถังปฏิกรณ์ - ต้องการพื้นที่มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มผลผลิตชีวมวลของสาหร่ายขนาดเล็ก

ในการเพาะเลี้ยง สาหร่ายขนาดเล็กในห้องปฏิบัติการ จำเป็นต้องศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต หรือการเพิ่มผลผลิตชีวมวลของสาหร่าย เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการเพาะเลี้ยงระดับใหญ่ขึ้น ซึ่งความแตกต่างกันจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของสาหร่ายชนิดต่างๆ (Collet และคณะ, 2011) โดยปัจจัยที่มีความสำคัญในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก ได้แก่ ความเข้มแสง ธาตุอาหาร คาร์บอนไดออกไซด์ ค่าความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิและออกซิเจน (Junying และคณะ, 2013)

2.3.2.1 แสง

ความเข้ม ความยาว คลื่น และความถี่ของแสง มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง และการเพิ่มผลผลิตชีวมวลของสาหร่ายขนาดเล็ก โดยความสามารถในการดูดซับแสงในช่วงความยาวคลื่นสูงสุดของสาหร่าย (680 nm หรือ 700 nm) จะแตกต่างกันขึ้นกับสายพันธุ์ของสาหร่ายแต่ละชนิด เช่น *Chlorella* sp. จะมีความสามารถดูดซับแสงสีแดงและสีเหลือง โดยทั่วไปในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กจะใช้แสงสว่างจากธรรมชาติ เนื่องจากสเปคตรัมของแสงธรรมชาติมีประโยชน์ต่อสาหร่ายมากกว่าแสงประดิษฐ์ (เช่น แสงจากหลอดฟลูออเรสเซ็นต์) (นุถนาช, 2557) สำหรับในการศึกษาวิจัยจะใช้แสงสว่างจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ เพื่อง่ายต่อการควบคุมปริมาณผลผลิตชีวมวลของสาหร่ายขนาดเล็ก

2.3.2.2 ธาตุอาหาร

ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายให้มีอัตราการเติบโตที่เหมาะสม ต้องใช้อาหารที่ประกอบด้วยธาตุอาหารที่จำเป็นในปริมาณเพียงพอ โดยทั่วไปธาตุอาหารหลักของสาหร่าย ได้แก่ คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ โปแตสเซียม และซิลิคอน (สำหรับไดอะตอม) นอกจากนั้น เป็นเกลือแร่อื่นๆ เช่น โคบอลต์ โมลิบดีนัม แมงกานีส และวิตามินชนิดต่างๆ เช่น บี12 เป็นต้น ซึ่งโดยทั่วไปแหล่งของคาร์บอนมาจากอากาศ นอกจากสาหร่ายบางชนิด เช่น *Spirulina* ที่สามารถใช้ไบคาร์บอเนตที่ค่าความเป็นกรดด่างสูงๆได้ และการใช้แหล่งสารอินทรีย์คาร์บอน เช่น กลูโคส หรือ อะซีเตต จะสามารถเร่งผลผลิตชีวมวลของสาหร่ายได้ดี (Noue และ Pauw, 1988)

2.3.2.3 คาร์บอนไดออกไซด์

เป็นปัจจัยที่จำกัดสำหรับกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายขนาดเล็กและของพืชอื่นๆ โดยกระบวนการสังเคราะห์แสงจะเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดในช่วงความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่าง 1-5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (Junying และคณะ, 2013) นอกจากนี้การเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ในอาหาร นอกจากจะใช้เป็นแหล่งของคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อเร่งปริมาณผลผลิตแล้ว ยังเป็นการช่วยควบคุมค่าความเป็นกรดด่างด้วย ดังนั้นในการเพาะเลี้ยงในระดับห้องปฏิบัติการ นอกจากสูตรอาหารที่เหมาะกับสายพันธุ์ของสาหร่าย แต่ละชนิดแล้วจึงจำเป็นต้องมีแหล่งที่มาของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งแหล่งของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อาจมาจากระบบการย่อยสลายแบบไร้อากาศ หรือระบบผลิตก๊าซชีวภาพ (Collet และคณะ, 2011)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 พอลิแซคคาไรด์

พอลิแซคคาไรด์จัดเป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน หรือไกลแคน (Glycans) ซึ่งประกอบด้วยโมโนแซคคาไรด์ (Monosaccharide) หนึ่งร้อยหรือหนึ่งพันโมเลกุลเชื่อมต่อกันเป็นสายยาว ไม่มีมวลโมเลกุลที่แน่นอน สายที่ยาวของน้ำตาลเชิงเดี่ยวจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ สามารถแบ่งพอลิแซคคาไรด์ออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. โฮโมพอลิแซคคาไรด์ (Homopolysaccharide)

พอลิแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วยโมโนแซคคาไรด์เพียง 1 ชนิด เช่น เซลลูโลส (Cellulose) ไคติน (Chitin) ไกลโคเจน (Glycogen) อะไมโลส (Amylose) และอะไมโลเพกทิน (Amylopectin) เป็นต้น

2 เฮทเทอร์โรพอลิแซคคาไรด์ (Heteropolysaccharide)

พอลิแซคคาไรด์ประกอบด้วยโมโนแซคคาไรด์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป เช่น เฮพาริน (Heparin) กรดไฮยาลูโรนิค และแกมมาโกลบูลิน (Gamma globulin) เป็นต้น (Pushkar, 2005) ในทางทฤษฎีแล้วลำดับโมโนแซคคาไรด์ของเฮทเทอร์โรแซคคาไรด์ ที่ต่างกันสามารถก่อให้เกิดความหลากหลายของพอลิแซคคาไรด์ได้มากกว่าโปรตีน

พอลิแซคคาไรด์ที่พบส่วนใหญ่จะประกอบด้วยโมโนแซคคาไรด์เพียงไม่กี่ชนิดเท่านั้น โดยมักจะพบว่ามีลำดับที่ซ้ำๆกัน พอลิแซคคาไรด์สามารถเกิดโครงสร้างแบบเส้นตรงและแบบกิ่งก้านได้ เนื่องจากพันธะไกลโคซิดิก (Glycosidic bond) สามารถเกิดกับหมู่ไฮดรอกซีของโมโนแซคคาไรด์ซึ่งมีอยู่หลายตำแหน่ง ซึ่งส่วนใหญ่แล้วโครงสร้างของพอลิแซคคาไรด์ที่พบจะเป็นแบบเส้นตรงมากกว่าแบบกิ่งก้าน

2.4.1 พอลิแซคคาไรด์ที่สร้างโดยสาหร่าย

ผนังเซลล์ของสาหร่ายประกอบด้วยพอลิแซคคาไรด์ ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะเป็นสารจำพวกเพคติน (Pectin) กลูแคน (Glucan) ไซแลน (Xylan) แมนแนน (Mannan) กาแลคแตน (Galactan) และ กรดยูโรนิค (Uronic acid) เป็นต้น

ตำแหน่งที่มีการพบพอลิแซคคาไรด์ในเซลล์สาหร่าย (Bertocchi และคณะ, 1990)

1. พอลิแซคคาไรด์ที่สะสมอยู่ภายในเซลล์

พอลิแซคคาไรด์ที่เก็บไว้เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานสำรอง ซึ่งพบในรูปของ α-1,4-linked glucan, β-1,3- linked glucans ในสาหร่ายบางชนิดพบในรูปของฟรักโทแซน (Fructosan) บางชนิดพบ α-1,6-branches และบางชนิดพบว่ามีโปรตีนเป็นองค์ประกอบด้วย โดยจากการศึกษาโมโนแซคคาไรด์ที่เป็นองค์ประกอบพบว่าส่วนใหญ่เป็นกลูโคสประมาณ 85-95 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. พอลิแซคคาไรด์ที่ห่อหุ้มเซลล์

ส่วนที่ห่อหุ้มเซลล์ของสาหร่ายสามารถแบ่งออกเป็นหลายชั้น ได้แก่ ผนังเซลล์ชีท (Sheath) แคปซูลและเมือก (Capsule and slime)

3. พอลิแซคคาไรด์ที่ปล่อยออกมาภายนอกเซลล์

พอลิแซคคาไรด์ที่ปล่อยออกมาภายนอกเซลล์จะมีบางส่วนที่ละลายน้ำ และบางส่วนที่ห่อหุ้มเป็นชั้นอย่างหลวมๆรอบเซลล์สาหร่าย จากการศึกษาพอลิแซคคาไรด์ที่ปล่อยออกมาภายนอกเซลล์มีน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ กลูโคส ฟลุคโตส อะราบิโนส และกรดกลูโคโรนิค นอกจากนี้ยังพบว่าองค์ประกอบและสัดส่วนของพอลิแซคคาไรด์สามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับแหล่งคาร์บอนและแหล่งไนโตรเจน

2.5 กรดไฮยาลูโรนิค

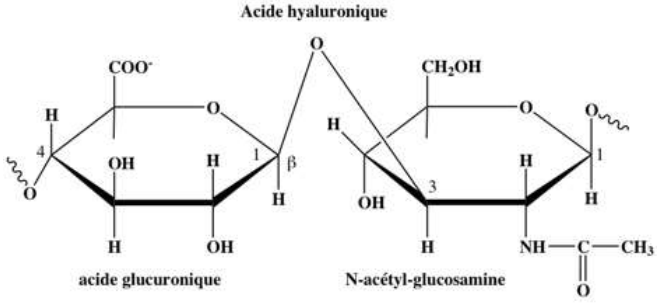
กรดไฮยาลูโรนิค เรียกสั้นๆว่า HA หรือไฮยารูโลแนน (Hyarulonan) คือพอลิแซคคาไรด์ชนิดหนึ่งที่พบได้ในร่างกายของมนุษย์ ตัวอย่างเช่น ส่วนของของเหลวชั้นนอกของเซลล์กระดูกสันหลัง (Extracellular matrix of vertebrate epithelial) น้ำหล่อลื่นข้อต่อ และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Conective tissue) ส่วนต่างๆ และโดยเฉพาะบริเวณที่มีการเชื่อมต่อระหว่างอวัยวะและเซลล์ (Sze และคณะ, 2016) เพื่อเพิ่มความต้านทานต่อการเสียดสีเพิ่มความยืดหยุ่น และความชุ่มชื่นให้แก่เซลล์ผิวหนัง

ปัจจุบันกรดไฮยาลูโรนิคสามารถสกัดได้จากอวัยวะของสัตว์ เช่น ในหงอนไก่ และจากสายพันธุ์ของแบคทีเรียในระดับอุตสาหกรรม เช่น *Pastuerella multocida, Streptococcus zooepidemicus* แต่ยังคงเป็นปัญหาที่ถือได้ว่า *Streptococcus* sp. เป็นเชื้อแบคทีเรียที่ก่อโรคและอาจก่อให้เกิดอันตรายได้ (Liu และคณะ, 2011) สำหรับในสาหร่ายขนาดเล็ก จากการศึกษาสาหร่ายขนาดเล็ก เช่น *Chlamydomonas* sp. ที่การเจริญอยู่สภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ สารอาหาร ค่าความกรดด่าง แสง อากาศ และอุณหภูมิ จะทำให้มีผลิตสารทุติยภูมิ (Secondary metabolite) อย่างมิวโคพอลิแซคคาไรด์ (Mucopolysaccharide) สะสมไว้ในบริเวณแคปซูล คล้ายกับในสัตว์และแบคทีเรีย (Parker, 1994)

2.5.1 โครงสร้างของกรดไฮยาลูโรนิค

กรดไฮยาลูโรนิค เป็นไกลโคซามิโนไกลแคน มีน้ำหนักโมเลกุลสูง 10^7 - 10^8 ดาลตัน ในธรรรมชาติมีประจุลบจากหมู่คาร์บอกซิเลท (Sze และคณะ, 2016) โดยจะประกอบด้วยหน่วยของไดแซคคาไรด์ซ้ำกันเป็นสายยาวระหว่าง เอ็น อะซิติล กลูโคซามี (N-actylglucosamine) และดีกลูคิวโรนิกแอซิค (D-glucuronic acid) ในสัดส่วนโมเลกุลทั้งสองที่เท่ากัน (Schiller, 1996) ซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้า 1, 4 และเบต้า 1, 3 ตามลำดับ (รูปที่ 2.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของกรดไฮยาลูโรนิค

ที่มา : http://biochimej.univ-angers.fr/ Page2/COURS/ 7RelStructFonction/ 6Proteases/1Lysozyme/3Polysaccharide.html.

2.5.2 คุณสมบัติของกรดไฮยาลูโรนิค

กรดไฮยาลูโรนิคมีคุณสมบัติในการกักเก็บความชุ่มชื้นได้เป็นอย่างดี เป็นสารที่มีลักษณะคล้ายเส้นใยฟองน้ำ พบอยู่ในชั้นหนังแท้สามารถอุ้มน้ำได้ในปริมาณค่อนข้างมาก สามารถทำให้เกิดความคงตัวในเนื้อเยื่อควบคุมน้ำ เก็บกักน้ำไว้ในเซลล์ผิวหนัง ซึ่งด้วยลักษณะที่เป็นองค์ประกอบและมวลโมเลกุลของกรดไฮยาลูโรนิคนั้นมีความเหมาะสมต่อการเอื้อประโยชน์และส่งเสริมต่อการทำงานของระบบต่างๆของร่างกาย ตัวอย่างเช่น มีส่วนช่วยในกระบวนการพัฒนาทางกายภาพของเส้นเลือดไปเป็นเส้นเลือดใหม่จากเส้นเลือดเดิม โดยถือได้ว่าจำเป็นต่อการเจริญและพัฒนาของเนื้อเยื่อภายในร่างกายซึ่งมักจะพบได้ในระหว่างการหายของบาดแผล และในเนื้อเยื่อที่กำลังมีการเจริญเติบโต (Angiogenesus) การยับยั้งการเจริญของเนื้องอก (Inhibit tumor progressing) และรวมถึงการลดอาการอักเสบ (Jagannath และ Ramachandran, 2010) โดยยังสามารถสกัดเอาสารนี้ได้จากเนื้อเยื่อบางส่วนของหงอนไก่ ส่วนมากจะใช้น้ำในการสกัดและใช้เอนไซม์โปรติเอส เพื่อกรดไฮยาลูโรนิคออกมาจากเนื้อเยื่อที่ต้องการ และจากการใช้เทคโนโลยีชีวภาพทำให้สามารถสร้างขึ้นได้จากเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* ในผู้ใช้บางรายจึงอาจเกิดอาการแพ้ยาจากโปรตีนของแบคทีเรียที่ใช้สังเคราะห์ตัวสารนี้ (พิมพ์พร, 2556)

นอกจากนี้ประโยชน์ที่ทำให้กรดไฮยาลูโรนิคเป็นที่รู้จักและได้รับความนิยม คือการทำหน้าที่เป็นตัวช่วยพยุงเนื้อเยื่อคอลลาเจน เส้นใยอีลาสติก รวมทั้งโครงสร้างที่อยู่ในชั้นผิวแท้ช่วยลำเลียงสารอาหารต่างๆ ที่จำเป็นจากกระแสเลือดไปยังเซลล์ต่างๆ การช่วยทำให้ผิวชุ่มชื้นโดยการกักเก็บน้ำไว้ใต้ผิวและการทำหน้าที่เปรียบเสมือนเป็นตัวหล่อลื่นผิวจากการถูกทำลายจากสารเคมี ซึ่งหากร่างกายขาดกรดไฮยาลูโรนิค จะส่งผลให้ปวดข้อเข่าและข้อต่อ ทำให้เกิดอาการปวดเวลาเดินเพราะไม่มีตัวช่วยลดการเสียดสี และอาจส่งผลให้เซลล์ผิวขาดความยืดหยุ่น ความชื้น หยาบกร้าน ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผิวมีสุขภาพไม่ดี ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำกรดไฮยาลูโรนิกจึงได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมความงามเพื่อใช้เป็นเป็นส่วนประกอบทั้งในรูปของอาหารเสริม และเครื่องสำอาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ประโยชน์ของสาหร่ายขนาดเล็ก

2.6.1 ประโยชน์จากองค์ประกอบของสาหร่ายขนาดเล็ก

2.6.1.1 ไขมัน

สาหร่ายขนาดเล็กมีความสามารถในการสะสมไขมันได้ในปริมาณสูง โดยเฉลี่ยร้อยละ 1-70 ของน้ำหนัก ซึ่งหากมีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กในสภาวะที่มีสารอาหารเพียงพอ ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมที่ส่งเสริมต่อการเจริญเติบโต หรือภายใต้สภาวะวิกฤต จะสามารถสะสมไขมันได้ถึงร้อยละ 90 ของน้ำหนัก โดยไขมันจากสาหร่ายขนาดเล็กเหล่านี้จะถูกเก็บสะสมในรูปของไตรเอซิลกลีเซอไรด์ (Triacylglyceride ; TAG) ซึ่งได้แก่ กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) โดยทั่วไปจะมีคุณสมบัติเป็นกลาง (Neutral) มีขั้ว (Polar) หรือไม่มีขั้ว (Non-polar) (Patel และคณะ, 2017) มีการใช้สาหร่ายขนาดเล็กมาสกัดกรดไขมัน เพื่อใช้ในการกระตุ้นการสร้างโครงสร้างที่สำคัญในระบบประสาทส่วนกลาง และเรตินาให้ทำงานได้ดียิ่งขึ้น (Meharban , 2005) ลดอาการอักเสบของไขข้อ อักเสบของผิว (โรคสะเก็ดเงิน) ลดอาการอักเสบในลำคอ นอกจากนี้ยังลดอาการอักเสบของเนื้อร้าย (เซลล์มะเร็ง) ลดการเกาะตัวเป็นก้อนของเม็ดเลือดหรือที่ เรียกว่าลิ่มเลือด เป็นต้น

2.6.1.2 โปรตีน

โปรตีนจัดเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญที่มีอยู่ร้อยละ 50-70 ในสาหร่ายขนาดเล็ก ประโยชน์ของโปรตีนที่ได้จากสาหร่ายขนาดเล็กเหล่านี้ถูกนำมาใช้เป็นอาหารมนุษย์และสัตว์ที่คุณค่าทางโภชนาการสูง เนื่องจากเป็นโปรตีนที่ถูกย่อยและดูดซึมได้ดีกว่าโปรตีนจากเนื้อสัตว์ (วัชระ, 2552) ถึงแม้ว่าในสาหร่ายขนาดเล็กบางชนิดนั้นมีโปรตีนที่เป็นพิษ แต่ด้วยวิธีการวิเคราะห์ในทางวิทยาศาสตร์จะสามารถระบุโปรตีนที่มีความปลอดภัยสำหรับการนำมาใช้ประโยชน์ได้ (Patel และคณะ, 2017)

2.6.1.3 คาร์โบไฮเดรต

สาหร่ายขนาดเล็กมีคาร์โบไฮเดรตในปริมาณที่สูงกว่าน้ำหนักแห้งราวร้อยละ 50 ซึ่งคาร์โบไฮเดรตในสาหร่ายขนาดเล็กส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของกลูโคส (Glucose) แป้ง (Starch) และพอลิแซคคาไรด์ชนิดต่างๆ โดยที่กลูโคสหรือแป้งมักถูกเปลี่ยนเป็นไบโอเอทานอล (Bioethanol) และไฮโดรเจน ในขณะที่พอลิแซคคาไรด์จะถูกเก็บสะสมไว้ หรือเป็นโครงสร้างของโมเลกุลต่างๆ(Patel และคณะ, 2017)

พอลิแซคคาไรด์จากสาหร่ายขนาดเล็กมีฤทธิ์ทางชีวภาพและมีศักยภาพในการลดการอักเสบ จึงทำให้นิยมนำมาใช้เพื่อเป็นส่วนประกอบในเครื่องสำอาง อาหาร และยารักษาโรค เป็นต้น

2.6.1.4 เถ้า

เถ้าเป็นตัวแปรสำคัญที่แสดงถึงประสิทธิภาพของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก โดยที่สาหร่ายขนาดเล็กแต่ละสายพันธุ์จะมีปริมาณเถ้าแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับการเก็บเกี่ยวผลผลิตและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะการเพาะเลี้ยง เป็นต้น

การเผาไหม้เถ้าที่อุณหภูมิต่ำเกินไปจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งส่งผลให้มีปริมาณเถ้าสูง แต่หากเผาไหม้เถ้าที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ปริมาณเถ้าลดลง เนื่องจากสูญเสียแร่ธาตุบางชนิด ตัวอย่างเช่น โพแทสเซียม ดังนั้นการเผาไหม้เถ้าจะต้องปรับเปลี่ยนให้เหมาะสม (Liu และคณะ, 2015)

2.6.1.5 ความชื้น

สาหร่ายขนาดเล็กในหลายๆสายพันธุ์จะประกอบไปด้วยความชื้นสูง ซึ่งจะแสดงถึงปริมาณน้ำภายในเซลล์ของสาหร่าย นอกจากนี้ปริมาณของความชื้นยังมีความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ ฤทธิ์ทางชีวภาพ (Nelson, 2015) และผลการผลิตน้ำมันของเซลล์สาหร่าย เป็นต้น (Sathish และคณะ, 2014) ดังนั้นจึงนิยมมีการนำเอาสารสกัดจากสาหร่ายขนาดเล็กเหล่านี้มาเป็นส่วนผสมในการเพิ่มความชุ่มชื้นให้แก่ผิว ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ในปัจจุบัน

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างร้อยละโดยน้ำหนักแห้งขององค์ประกอบทางเคมี ในสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็กต่างๆ

สายพันธุ์	**น้ำหนักแห้ง (ร้อยละ)**				
	ไขมัน	โปรตีน	คาร์โบไฮเดรต	ความชื้น	เถ้า
Chlorella sp.	16.15 [1]	39.98 [1]	24.93 [1]	1.30 [1]	5.71 [1]
Chlorococcum sp.	19.3 [2]	37.9 [3]	33.1 [3]	77.5 [4]	25.76 [4]
Scenedesmas sp.	15.07 [1]	30.99 [1]	27.66 [1]	0.71 [1]	15.72 [1]

อ้างอิง : [1] (Kent และคณะ, 2015) [2] (Patel และคณะ, 2017) [3] (Ota และคณะ, 2009) และ [4] (Subagyono และคณะ, 2015)

2.6.2 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

สารสกัดจากสาหร่ายขนาดเล็กในหลายๆสายพันธุ์ เป็นสารในกลุ่มพอลิแซคคาไรด์และสารประกอบจำพวกฟีนอลิกล้วนมีศักยภาพในการเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ที่มีประสิทธิภาพสูงแตกต่างกันในแต่ละสายพันธุ์ของสาหร่ายขนาดเล็ก ซึ่งเป็นผลมาจากชนิด ปริมาณของสารประกอบฟีนอลิก ชนิดของพอลิแซคคาไรด์ รงควัตถุ แคโรทีนอยด์ โปรตีน และรวมไปถึงปริมาณและตำแหน่งของหมู่ซัลเฟตบนโครงสร้างน้ำตาลที่แตกต่างกันของพอลิแซคคาไรด์ (วสันต์, 2557)

2.6.2.1 กิจกรรมการต้านมะเร็ง

การก่อตัวของเซลล์มะเร็งจะเกิดขึ้นได้จากอนุมูลอิสระ ซึ่งส่งผลให้เกิดการแบ่งตัวของเซลล์ที่ไม่สามารถควบคุมได้อย่างรวดเร็ว และลุกลามแพร่กระจายไปตามอวัยวะสำคัญต่างๆของร่ายกาย พัฒนาจนกลายเป็นก้อนเนื้อ (Tumor) ซึ่งรบกวนและทำลายระบบการทำงานของอวัยวะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจากศึกษาผลของความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็ง (Cytotoxin assay) ของรงควัตถุที่มีอยู่ในสาหร่ายขนาดเล็กจำนวนมากอย่าง คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) แคโรทีนอยด์ (Caroteniods) และไฟโคไบลิโปรตีน (Phycobiliprotein) พบว่า มีศักยภาพในการยับยั้งการแบ่งตัวแบบผิดปกติ ซึ่งจะก่อตัวให้เกิดเป็นเซลล์มะเร็ง การก่อเกิดเนื้องอก และสารอนุมูลอิสระ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Patel และคณะ, 2017)

2.6.2.2 กิจกรรมยับยั้งการอักเสบ

อาการอักเสบเป็นกระบวนการตอบสนองทางชีวภาพต่อสิ่งที่เป็นอันตราย ตัวอย่างเช่น เชื้อแบคทีเรีย ไวรัส เพื่อกระตุ้นให้ระบบภูมิคุ้มกันเข้ายับยั้งจุลชีพก่อโรคหรือต่อปัจจัยอื่นๆ เช่น อาการบาดเจ็บ และสารเคมี เป็นต้น ในส่วนประกอบต่างๆของสาหร่าย เช่น กรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง (Polyunsaturated fatty acid ; PUFAs) และแคโรทีนอยด์ มีความสามารถในการลดอาการอักเสบ จึงนิยมนำไปใช้เพื่อเป็นส่วนประกอบในอุตสาหกรรมความงาม เภสัชกรรม เป็นต้น (Patel และคณะ, 2017)

2.6.2.3 กระบวนการสร้างเส้นเลือดใหม่

การสร้างเส้นเลือดใหม่ เป็นกลไกสำคัญทางธรรมชาติของร่ายกายที่เป็นไปเพื่อการซ่อมแซมและการเจริญเติบโตของอวัยวะ หากกระบวนการสร้างเส้นเลือดเลือดใหม่เกิดความผิดปกติจากการแทรกซ้อนของเชื้อก่อโรค จะส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายของโรคได้ง่ายมากขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีการยับยั้งกระบวนการสร้างเส้นเลือดใหม่ ซึ่งจากการศึกษาโดยการกระตุ้นให้เกิดการสร้างเส้นเลือดใหม่ที่ผิดปกติ (Neovascularization) และหาจำนวนเซลล์รอดชีวิต (MTT assay) พบว่า สารสกัดอินทรีย์จากสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กมีฤทธิ์ในการยับยั้งการสร้างเส้นเลือดใหม่ได้เป็นอย่างดี (Patel และคณะ, 2017)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 พอลิแซคคาไรด์กับสาหร่าย

Bertocchi และคณะ (1990) ได้ทำการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล พบว่าพอลิแซคคาไรด์ของสาหร่ายสามารถพบได้จากการสะสมอยู่ภายในเซลล์ พอลิแซคคาไรด์ที่ห่อหุ้มเซลล์ และพอลิแซคคาไรด์ที่ปล่อยออกมาภายนอกเซลล์

Pushkar (2005) ให้ความหมายของพอลิแซคคาไรด์ว่าประกอบไปด้วยโมโนแซ็กคาไรด์ (Monosaccharide) หนึ่งร้อยหรือหนึ่งพันโมเลกุลเชื่อมต่อกันเป็นสายยาว ไม่มีมวลโมเลกุลที่แน่นอน และสายที่ยาวของน้ำตาลเชิงเดี่ยวจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์

2.7.2 คุณสมบัติและประโยชน์ของสารสกัดจากสาหร่าย

มยุรมาศ (2551) ศึกษาและประเมินคุณภาพของสารสกัดหยาบพอลิแซคคาไรด์ที่ได้จากสาหร่ายสไปรูลิน่า สาหร่ายไก และสาหร่ายเทาน้ำ โดยทดสอบการให้ความชุ่มชื้นเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีสารสกัดเป็นองค์ประกอบ และทดสอบความปลอดภัย ตลอดจนประสิทธิภาพของสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สกัดหยาบพอลิแซคคาไรด์ กับอาสาสมัคร 30 คน พบว่าให้ความชุ่มชื้นได้มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญ ด้วยความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ปริญญา และอมรรัตน์ (2556) ศึกษาผลของการใช้สารสกัดจากสาหร่ายเทาน้ำ (*Spirogyra* sp.) สาหร่ายไก (*Cladophora* sp.) และสาหร่ายเห็ดลาบ (*Nostoc* sp.) เพื่อเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ผลการทดสอบฤทธิ์ของสารสกัดสาหร่ายในการยับยั้งเชื้อ *Staphylococcus aureus* พบว่า สารสกัดจากสาหร่ายเห็ดลาบมีฤทธิ์ในการยับยั้งได้ดีที่สุด แต่ถึงอย่างไรผลการทดสอบฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ *Propionibvacterium acnes* DMST14916 ที่เป็นสาเหตุให้เกิดสิว พบว่าสารสกัดเทาน้ำ และสาหร่ายไก มีฤทธิ์ในการยับยั้งได้ดีที่สุดตามลำดับ ส่วนสาหร่ายเห็ดลาบไม่มีฤทธิ์ในการยับยั้ง

วสันต์ และคณะ (2557) ศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบจากสาหร่ายทะเลจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ สาหร่ายพวกองุ่น (*Caulerpa lentillifera*) สาหร่ายทุ่น (*Sargassum oligocystum*) และสาหร่ายเขากวาง (*Gracilaria changii*) พบว่าสารสกัดหยาบที่สกัดด้วยเอทานอลของสาหร่ายพวงองุ่น มีศักยภาพในการรีดิวซ์ การจับโลหะ และการต้านอนุมูลอิสระที่มีผลต่อการฟอกสีของบีต้าแคโรทีนสูงที่สุด

กิตติมาภรณ์ และภาณุพงษ์ (2557) ศึกษาและพัฒนาสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากสาหร่ายวากาเมะเพื่อเป็นสารให้ความชุ่มชื้นผิว และการทดสอบความระคายเคืองในอาสาสมัครจำนวน 20 คน แสดงให้เห็นว่าไม่ก่อให้เกิดการระคายเคือง และมีประสิทธิภาพในการเพิ่มความความชุ่มชื้นได้ผลใกล้เคียงกับโซเดียมไฮยาลูโรเนต

พรพิมล และคณะ (2558) ทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดสิว *Propionibactetium acnes* จากสารสกัดสาหร่ายทะเลที่พบในประเทศไทย 14 สายพันธุ์ ซึ่งการทดสอบการยับยั้งเชื้อด้วยวิธี Disc diffusion พบว่า สารสกัดของสาหร่าย *Padina minor*, *Lobophora australis* และ *Padina tetrastomatica* มีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดีที่สุด จากผลการศึกษาจะส่งเสริมการนำสาหร่ายทะเลเพื่อการต่อยอดและพัฒนาสำหรับใช้เป็นองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์การรักษาสิว

Gin-Nae และคณะ (2007) ศึกษาผลของการต้านอนุมูลอิสระชนิดฟลอโรแทนนิน (Phlorotannin) 3 ชนิด ได้แก่ ฟลอโรกลูซินอล (Phloroglucinol) แอกคอล(Eckol) และไดแอลคอล (Dieckol) ของสาหร่าย *Ecklonia cava* เพื่อเพิ่มมูลค่าและความสามารถของผลผลิตทางธรรมชาติสำหรับการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องสำอางค์ พบว่า ฟลอโรแทนนินมีศักยภาพในการต้านสารอนุมูลอิสระ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในแอกคอลให้ผลร้อยละ DPPH เท่ากับ 93 ที่ระดับความเข้มข้น 0.25, 0.5 และ 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แสดงให้เห็นว่ามีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการผลิตเครื่องสำอาง

Buono และคณะ (2012) ศึกษาผลของฤทธิ์ทางชีวภาพจากการสกัดด้วยน้ำของสาหร่าย *Botryococcus braunii* สารสกัดของสาหร่าย *Botryococcus braunii* มีความสามารถในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระตุ้นการแสดงออกของโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการรักษาสมดุลของน้ำในผิว รวมถึงยังมีการส่งเสริมให้เกิดการสังเคราะห์คอลลาเจนชนิด 1 และ 3 ได้ร้อยละ 80 และ 40 ตามลำดับ

Wu และคณะ (2013) รายงานการพบพอลิแซ็กคาไรด์ 3 ชนิด ได้แก่ FG, GM-1 และ GM-2 ที่สกัดได้จากสาหร่ายสีน้ำตาล *Hizikia fusiformis* พบว่า GM-2 เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ดีที่สุด พบว่า GM-2 ยังสามารถต้านความเสียหายจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl_4) ที่เหนี่ยวนำให้เกิดการบาดเจ็บที่ตับ (CCl_4-Induced liver injury) ในสิ่งมีชีวิต

Leelapornpisid (2014) พบว่า สารสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่ายน้ำจืด *Rhizoclonoium hieroglyphicum* ถูกใช้เป็นส่วนผสมที่ให้ความชุ่มชื้นสำหรับอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง จากผลการทดสอบครีมบำรุงผิวที่พบว่า สามารถเพิ่มความชุ่มชื้นให้แก่ผิวได้ เนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของการแทรกซึมของสาร hydrophilic และสิ่งกีดขวาง เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำจากผิว

Ahmed และ Ahmed (2014) ได้ทำการตรวจสอบผลของอัลเวนส์พอลิแซ็กคาไรด์ ผลการทดลองพบว่า มีการต้านการแบ่งตัว และต้านการเกิดเนื้องอก ที่มีผลเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็ง (EAC-cell) เซลล์มะเร็งตับ (Hepatoma ; HepG2) และเซลล์มะเร็งลำไส้ (Coloncarcinoma ; HCT116) ในหลอดทดลอง (Cell line)

Mungmai และคณะ (2014) ศึกษาผลของสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากสาหร่ายน้ำจืด *Rhizoclonium hieroglyphicum* ด้วยวิธีการสกัดน้ำและเอทานอล แสดงคุณสมบัติความเป็นเจล โดยคุณสมบัติความเป็นเจลเหล่านี้มีลักษณะคล้ายกับคาร์ราจีแนน (Carrageenan) ซึ่งจะส่งเสริมต่อความสามารถในการใช้สารสกัดพอลิแซคคาไรด์ที่ได้จากสาหร่าย *Rhizoclonium hieroglyphicum* นี้ในผลิตภัณฑ์โภชนาการ ยา และเครื่องสำอาง

Delsin และคณะ (2015) ศึกษาคุณสมบัติของสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Spirulina* sp. ซึ่งจะถูกนำมาผสมกับครีม และทดสอบกับอาสาสมัครจำนวน 40 คน โดยจะประเมินผลของการทดสอบจากความชุ่มชื้นของผิว (Skin hydration) การสูญเสียน้ำจากผิวหนังในชั้นเนื้อเยื่อนอกสุดของผิวหนังกำพร้า และความเรียบเนียนของผิว พบว่า หลังจากอาสามัครใช้ครีมที่ผสมสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Spirulina* sp. สามารถเพิ่มความชุ่มชื้นต่อชั้นนอกสุดของผิวหนังกำพร้า ลดการสูญเสียน้ำได้ดีในอาสาสมัคร และทำให้ผิวมีความเรียบเนียน ลดความขรุขระ

Qi และ Sun (2015) ได้ทำการทดลองกับหนูทดลอง แสดงให้เห็นว่าพอลิแซ็กคาไรด์ที่ได้จากสาหร่าย *Ulva pertusa* มีปริมาณซัลเฟตสูงและมีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity) สามารถต้านมะเร็งที่หลากหลาย ได้แก่ การต้านสารอนุมูลอิสระ (Antioxidant) การต้านการแบ่งตัว (Antiproliferative) และการต้านการเกิดเนื้องอก (Antitumor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 สารเคมี

3.1.1 อาหารสูตร N-8 สูตรอาหารเหลว (ภาคผนวก ก)

3.1.2 อาหารสูตร N-8 สูตรอาหารแข็ง (ภาคผนวก ก)

3.1.3 แอลกอฮอล์ ความเข้มข้นร้อยละ 95

3.1.4 เอทานอล (Ethanol, C_2H_5OH: analytical grade) ความเข้มข้นร้อยละ 95

3.1.5 ฟีนอล (Phenol) ความเข้มข้นร้อยละ 5

3.1.6 กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Sulfuric acid ; H_3SO_4) ความเข้มข้นร้อยละ 98

3.1.7 สารละลายมาตราฐานกลูโคส (Glucose standard)

3.1.8 คาร์บาโซล (Carbazole ; $C_{12}H_9N$) บริษัท Merck-shuchardt

3.1.9 โซเดียมเตตระบอเรต (Sodium tetraborate ; $Na_2B_4O_7$) บริษัท Carlo erba reagent

3.1.10 ดี กลูคิวโรโนแล็กโทน (D-Glucuronolactone ; $C_6H_8O_6$) บริษัท Acros organics

3.1.11 สารละลายดีพีพีเอช (DPPH reagent) บริษัท Sigma-aldrich

3.1.12 เมทานอล (Methanol)

3.1.13 คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulfate, $CuSO_4$)

3.1.14 โพแทสเซียม ซัลเฟต (Potassium sulfate, KSO_4)

3.1.15 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl) ความเข้มข้น 1 นอร์มอล

3.1.16 กรดบอริค (Boric acid, H_3BO_3) ความเข้มข้นร้อยละ 4

3.1.17 โบรโมครีซอล กรีน (Bromocresol green) ความเข้มข้นร้อยละ 0.1

3.1.18 เมทิลเรด (Methyl red) ความเข้มข้นร้อยละ 0.1

3.1.19 ปีโตรเลียม อีเทอร์ (Petrolium ether) บริษัท Panreac quomica sau

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2.1 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ; Olympus รุ่น CH30

3.2.2 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Microscope) ; Nikon : 80i

3.2.3 เครื่องอ่านค่าการดูดกลืนแสงไมโครเพลท (Microplate reader) ; Multi-mode reader : SYNERGY HTX

3.2.4 เครื่องกลั่นระเหยสารความดันต่ำ (Rotary evaporator) ; Heidolph : Hei-VAP

3.2.5 เครื่องชั่งสารทศนิยม 4 ตำแหน่ง ; Adventure : AR2140

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 เครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูงขนาดเล็ก (Microcentrifuge) ; Eppendorf : 5415R

3.2.7 เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ; Hermle : Z36HK

3.2.8 เครื่องเขย่า (Orbital Shaker) ; Gallen kamp : SH0400

3.2.9 ตู้เขี่ยเชื้อ (Laminar air flow) ; M-tech : Cleanline BS-120

3.2.10 หม้อนึ่งความดันไอ (Autoclave) ; Hiryama : Hiclave

3.2.11 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ; WTB binder : DE53

3.2.12 ตู้ดูดควัน (Hood)

3.2.13 เครื่องย่อยโปรตีน (Protein digestion unit) ; Gerhardt : KB8s

3.2.14 เครื่องกลั่นโปรตีน (Protein distillation unit) ; Gerhardt : Vapodest 30s

3.2.15 เตาเผาความร้อนสูง (Muffle furnace) ; Furnace XKL : XKL 15

3.2.16 ชุดตัวควบแน่นสกัดไขมันแบบซอกห์เลต (Condenser tube) ; Favorit

3.2.17 เตาให้ความร้อนแบบหลุม (Heating mantle) ; MTOPs : MS-E102

3.2.18 เครื่องผสมสาร (Vortex) ; Scientific Inductries : G560E

3.2.19 เตาอบไมโครเวฟ (Microwave oven)

3.2.20 หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์

3.2.21 ฮีมาไซโตมิเตอร์ (Haemacytometer) ชนิด Improved neubauer ; BOEC Germany

3.2.22 เครื่องวัดความเข้มแสง (Digital lux meter) ; LX-1010BS

3.2.23 โถดูดความชื้น (Desiccator)

3.2.24 ภาชนะอลูมิเนียม (Moisture can)

3.2.25 ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (Procelain crucible)

3.2.26 ทิมเบิล (Thimble)

3.2.27 ถังเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาด 6 ลิตร

3.2.28 ขวดรูปชมพูขนาด 250, 500 มิลลิลิตร (250, 500 ml Erlenmeyer flask)

3.2.29 ฟลาสก์ก้นกลม (Round bottom flasks)

3.2.30 จานเพาะเชื้อ (Plate) และหลอดทดลอง (Test tube)

3.2.31 ขาตั้ง (Stand) และขาจับบิวเรต (Buret clamp)

3.2.32 หลอดปั่นเหวี่ยงขนาด 50 มิลลิลิตร (50 ml Centrifuge tube)

3.2.33 หลอดปั่นเหวี่ยงขนาด 1 และ 2 มิลลิลิตร (1, 2 ml Microtube)

3.2.34 ปิเปตแก้วขนาด 1, 5 และ 10 มิลลิลิตร

3.2.35 ไมโครปิเปตขนาด 200 และ 1,000 ไมโครลิตร

3.2.36 บิวเรตแก้ว ขนาด 50 มิลลิลิตร (50 ml Buret)

3.2.37 ขวดแก้วขนาด 250, 500 และ 1,000 มิลลิลิตร (250, 500, 1000 ml Duran)

3.2.38 คีมคีบ (Tong)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 สายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็กทั้งหมดที่ใช้ศึกษา

ตารางที่ 3.1 สายพันธุ์สาหร่ายที่คัดแยกได้จากแหล่งน้ำธรรมชาติ

ลำดับที่	สายพันธุ์สาหร่าย	รหัส	สถานที่เก็บตัวอย่าง	วันที่เก็บตัวอย่าง
1	*Chlamydomonas* sp.	B1-59	บ่อน้ำ คณะอุตสาหกรรมการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	12 มีนาคม 2560
2	*Chlorella* sp.	B2-59	สระบัว ข้างโรงอาหาร ตึกพระเทพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	25 มีนาคม 2560
3	*Scenedesmus* sp	N-59	บ่อน้ำหลังโรงเพาะ คณะครุศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	25 มีนาคม 2560

ตารางที่ 3.2 สายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็กที่ได้จากห้องปฏิบัติการสาหร่าย

ลำดับที่	สายพันธุ์สาหร่าย	รหัส	ตัวอย่างจากห้องปฏิบัติการสาหร่าย
1	*Chlorella* sp.	A	ห้องปฏิบัติการสาหร่าย คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2	*Chlorella* sp.	B	ห้องปฏิบัติการสาหร่าย คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3	*Chlorella* sp.	G	ห้องปฏิบัติการสาหร่าย คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
4	*Chlorella* sp.	KP55	ห้องปฏิบัติการสาหร่าย คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
5	*Chlorella* sp.	V55	ห้องปฏิบัติการสาหร่าย คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
6	*Chlorella* sp.	5	ห้องปฏิบัติการสาหร่าย คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

ลำดับที่	สายพันธุ์สาหร่าย	รหัส	ตัวอย่างจากห้องปฏิบัติการสาหร่าย
7	*Scenedesmus* sp	C	ห้องปฏิบัติการสาหร่าย คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
8	*Scenedesmus* sp	F9	ห้องปฏิบัติการสาหร่าย คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
9	*Scenedesmus* sp	F14	ห้องปฏิบัติการสาหร่าย คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
10	*Scenedesmus* sp	M12	ห้องปฏิบัติการสาหร่าย คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
11	*Scenedesmus* sp	M14	ห้องปฏิบัติการสาหร่าย คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
12	*Chlorococcum* sp	AB1	ห้องปฏิบัติการสาหร่าย คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การคัดแยกสายพันธุ์สาหร่ายน้ำจืดขนาดเล็ก

1.เก็บตัวอย่างสาหร่ายน้ำจืดจากแหล่งน้ำธรรมชาติ

2.คัดแยกสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็กจำนวน 15 สายพันธุ์ โดยวิธีการ Spread plate technique บนอาหารเลี้ยงเชื้อที่บริสุทธิ์ (Pure culture) ให้เป็นโคโลนีเดี่ยว

3.นำตัวอย่างที่คัดแยกได้ทำการเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร N-8 บนจานเพาะเชื้อด้วยเทคนิค Cross Streak เพื่อให้ได้สายพันธุ์สาหร่าย

4.นำจานอาหารไปบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 7 วัน โดยให้แสงตลอดเวลาที่ความเข้มแสง 2000 ลักซ์

5.ตรวจสอบเพื่อยืนยันว่าเป็นสายพันธุ์สาหร่ายที่ต้องการด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์และเก็บโคโลนีของสายพันธุ์สาหร่ายบริสุทธิ์ลงในหลอดอาหารเพื่อใช้เป็นหัวเชื้อต่อไป

3.4.2 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก ในระดับฟลาสก์

1. เตรียมอาหารเหลวสูตร N-8 ในฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2. ถ่ายตัวอย่างสาหร่ายจากหลอดอาหารลงในพลาสก์อาหารเหลวที่เตรียมไว้จำนวน 3 ลูป ด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จากนั้นนำฟลาสก์อาหารที่ได้รับการถ่ายเชื้อแล้ว เพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิห้อง ให้แสงที่ความเข้มแสง 2000 ลักซ์ และเขย่าที่ 150 รอบต่อนาที ตลอดเวลา จนกระทั่งสามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตรได้ 0.3-0.5

4. ถ่ายเชื้อสาหร่ายอีกครั้งจากข้อ 3 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในฟลาสก์อาหารเหลวสูตร N-8 และเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิห้อง ให้แสงที่ความเข้มแสง 2000 ลักซ์ และเขย่าที่ 150 รอบต่อนาที ตลอดเวลาเช่นกัน

5. วิเคราะห์ปริมาณพอลิแซคคาไรด์เบื้องต้น ด้วยวิธีฟีนอลซัลฟิวริก และเก็บผลการเจริญของสาหร่าย ได้แก่ ค่าการดูดกลืนแสงที่ 560 นาโนเมตร น้ำหนักเซลล์แห้งสาหร่าย จำนวนเซลล์สาหร่าย จนกระทั่งเข้าสู่ระยะการเจริญคงที่ (Stationary phase)

6. คัดเลือกสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ที่มีปริมาณพอลิแซคคาไรด์และอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดจากการคำนวณ (ภาคผนวก ข-1) มาเพาะเลี้ยงเพื่อเพิ่มจำนวนในระดับถังต่อไป

3.4.3 การวัดการเจริญของสาหร่าย

เก็บตัวอย่างเพื่อวัดผลการเจริญของสาหร่ายในทุกๆ 2 วัน ตลอดการเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 14 วัน และวัดค่าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่าย ดังนี้

1. นำตัวอย่างสาหร่ายที่ต้องการวัดค่าความหนาแน่นไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร ด้วยเครื่องไมโครเพลท รีดเดอร์ (Microplate reader)

2. นับจำนวนเซลล์ด้วยสไลด์ฮีมาไซโตมิเตอร์

3. วิเคราะห์น้ำหนักเซลล์แห้ง โดยนำหลอดเซนติฟิวขนาด 1 มิลลิลิตร ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็นภายในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนักหลอดเปล่าด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง และนำตัวอย่างสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในอาหาร จำนวน 1 มิลลิลิตร ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 9000 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 10 นาที แล้วจึงล้างเซลล์ด้วยน้ำกลั่น ก่อนที่จะนำไปปั่นเหวี่ยงอีกครั้ง เทส่วนใสเหนือตะกอนทิ้ง หลังจากนั้นนำหลอดเซนติฟิวที่มีตะกอนเซลล์สาหร่ายไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นภายในโถดูดความชื้น นำไปชั่งน้ำหนักและคำนวณหาน้ำหนักแห้ง (ภาคผนวก ข-1)

3.4.4 การทดสอบพอลิแซคคาไรด์ ด้วยวิธีฟีนอลซัลฟิวริก (จิรพันธ์, 2555)

ทดสอบพอลิแซ็กคาไรด์เบื้องต้น โดยปั่นเหวี่ยงตัวอย่างสาหร่าย 1 มิลลิลิตร ที่ความเร็ว 9000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที จากนั้นล้างเซลล์ด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 100 ไมโครลิตรและปั่นเหวี่ยงอีกครั้ง หลังจากนั้นนำเอาส่วนใสที่ได้เพื่อนำไปทดสอบ โดยผสมส่วนใสตัวอย่างสาหร่ายจำนวน 100 ไมโครลิตร เข้ากับสารละลายฟีนอลร้อยละ 5 จำนวน 100 ไมโครลิตร และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น จำนวน 500 ไมโครลิตร ในทันที แล้วจึงตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที เมื่อเกิดปฏิกิริยาสารละลายจะเปลี่ยนสีเป็นสีส้มหรือเหลือง จากนั้นนำไปวัดค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดูดกลืนแสงที่ 490 นาโนเมตร ด้วยเครื่องไมโครเพลท รีดเดอร์ และบันทึกค่าการดูดกลืนแสงที่ได้เทียบกับกราฟมาตราฐานกลูโคส (รูปภาคผนวก ข-2)

3.4.5 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อเพิ่มจำนวนในระดับถัง

1. เตรียมถังน้ำพลาสติกขนาด 6 ลิตร ฆ่าเชื้อด้วยการแช่ในแอลกอฮอล์ก่อนจะลวกด้วยน้ำร้อน
2. เตรียมอาหารเหลวใส่ในถังน้ำพลาสติก จำนวน 4 ลิตร
3. เตรียมหัวเชื้อสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ที่คัดเลือก ซึ่งมีค่าการดูดกลืนแสงที่ 560 นาโนเมตร เท่ากับ 0.5 ปริมาตรร้อยละ 20 ของปริมาตรอาหารเหลว 4 ลิตร
4. ถ่ายหัวเชื้อสาหร่ายใส่ลงในถังพลาสติกขนาด 6 ลิตร จากนั้นต่อสายยางจากเครื่องเติมอากาศลงในถังพลาสติก เพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิห้อง และให้แสงที่ 5000 ลักซ์ ตลอดเวลาการเพาะเลี้ยง
5. วิเคราะห์ปริมาณพอลิแซคคาไรด์เบื้องต้น ด้วยวิธีฟีนอลซัลฟิวริก และเก็บผลการเจริญของสาหร่าย จนกระทั่งสาหร่ายเจริญเติบโตเข้าสู่ระยะที่มีปริมาณของสารพอลิแซคคาไรด์สูงสุดหรือที่ระยะการเจริญแบบทวีคูณ (Exponential phase) แล้วจึงเก็บเกี่ยวเซลล์

3.4.6 การเตรียมสารสกัดหยาบจากสาหร่าย

เตรียมตัวอย่างสาหร่าย โดยเก็บเกี่ยวสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ที่คัดเลือกจากถังเพาะเลี้ยงปริมาตร 4 ลิตร จากข้อ 3.4.5 นำมาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ด้วยหลอดเซนติฟิวขนาด 50 มิลลิลิตร และล้างเซลล์ด้วยน้ำกลั่นจำนวน 2 ครั้ง จากนั้นนำมาอบภายในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้เซลล์แตกด้วยการบดด้วยครกหิน แล้วจึงนำเซลล์สาหร่ายที่ได้เก็บรักษาไว้ในช่องแช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส สำหรับนำไปใช้ในการสกัดพอลิแซคคาไรด์ต่อไป

3.4.7 การสกัดพอลิแซคคาไรด์จากสาหร่าย

นำตัวอย่างสาหร่ายที่เตรียมไว้จากข้อ 3.4.6 มาทำการทดลองเปรียบเทียบวิธีสกัดที่สามารถให้สารสกัดพอลิแซคคาไรด์ในปริมาณสูงสุด จากตัวทำละลาย 2 ชนิด ได้แก่

1. การสกัดด้วยน้ำ

ชั่งตัวอย่างสาหร่ายที่บดละเอียดจำนวน 1 กรัม แช่ในน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร และนำไปเขย่าที่ความเร็ว 130 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3000 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 15 นาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แยกส่วนใสที่ได้นำไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องกลั่นระเหยสารความดันต่ำ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 72 มิลลิบาร์ จนกระทั่งตัวทำละลายระเหยหมด แล้วจึงนำสารสกัดตัวอย่างสาหร่ายที่ได้เก็บไว้ภายในโถดูดความชื้น ก่อนนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักแห้งของสารสกัดพอลิแซคคาไรด์ และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สำหรับเพื่อทำการทดลองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การสกัดด้วยเอทานอล

ชั่งตัวอย่างสาหร่ายที่บดละเอียดจำนวน 1 กรัม แช่ในเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และนำไปเขย่าที่ความเร็ว 130 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3000 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 15 นาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แยกส่วนใสที่ได้นำไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องกลั่นระเหยสารความดันต่ำ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 175 มิลลิบาร์ จนกระทั่งตัวทำละลายระเหยหมด แล้วจึงนำสารสกัดตัวอย่างสาหร่ายที่ได้เก็บไว้ภายใต้โถดูดความชื้น ก่อนนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักแห้งของสารสกัดพอลิแซคคาไรด์ และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สำหรับเพื่อทำการทดลองต่อไป

3.4.8 การหาน้ำหนักแห้งของพอลิแซคคาไรด์

นำสารสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ที่ได้จากข้อ 3.4.7 ทิ้งไว้ให้แห้งภายในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนักที่แน่นอน เพื่อหาร้อยละผลได้ของสารสกัดพอลิแซคคาไรด์ (ภาคผนวก ข-2)

3.4.9 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไฮยาลูโรนิคเบื้องต้น ด้วยวิธีคาร์บาโซล (พิมพ์พร, 2556)

1. เติมสารละลายโซเดียม เตตระบอเรต ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองที่อยู่ในอ่างน้ำแข็ง จากนั้นเติมสารละลายตัวอย่างสาหร่าย ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร และตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 10 นาที

2. ผสมสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องผสมสาร แล้วจึงให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที จากนั้นทำให้เย็นในอ่างน้ำแข็งจนสารละลายเย็นลง

3. เติมสารละลายคาร์บาโซล 0.1 มิลลิลิตร และผสมสารด้วยเครื่องผสมสารทันที จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 นาที

4. ทำให้เย็นในอ่างน้ำแข็ง และนำมาแช่ในอ่างน้ำอุณหภูมิห้อง

5. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 530 นาโมเมตร โดยใช้ดีกลูคูโรโนแลคโทนเป็นสารมาตรฐาน (รูปภาคผนวก ข-3)

3.4.10 การทดสอบคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH (Kumar และคณะ, 2008)

นำสารสกัดตัวอย่างสาหร่ายที่ความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมสารละลายดีพีพีเอชที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.35 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายเอทานอล ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมสาร จากนั้นทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร คำนวณหาร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ (ภาคผนวก ข-4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.11 ศึกษาองค์ประกอบสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ที่มีพอลิแซคคาไรด์สูงสุด

3.4.11.1 การวิเคราะห์ร้อยละความชื้นทั้งหมด (A.O.A.C., 2005)

1. นำภาชนะอลูมิเนียม อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง และทิ้งไว้ให้เย็นภายในโถดูดความชื้น

2. นำตัวอย่างสาหร่ายจำนวน 1 กรัม ใส่ในภาชนะอลูมิเนียมพร้อมฝาปิดที่ผ่านการอบและจดบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน แล้วจึงนำเอาไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง โดยเปิดฝาภาชนะอลูมิเนียมออก จากนั้นเมื่อครบกำหนดเวลาจึงนำเอาภาชนะอลูมิเนียมออกจากตู้อบ และทิ้งไว้ให้เย็นภายในโถดูดความชื้น

3. ชั่งน้ำหนักภาชนะอลูมิเนียมและคำนวณหาปริมาณความชื้น (ภาคผนวกที่ ข-5.1)

3.4.11.2 การวิเคราะห์ร้อยละปริมาณเถ้าทั้งหมด (A.O.A.C., 2005)

1. อบครูซิเบิลที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง และทิ้งไว้ให้เย็นภายในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนักของครูซิเบิล

2. นำตัวอย่างสาหร่ายบดละเอียดจำนวน 1 กรัม ใส่ลงในครูซิเบิล จากนั้นนำไปอบที่อุณภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งได้เถ้าสีขาว

3. นำครูซิเบิลทิ้งไว้ให้เย็นภายในโถดูดความชื้น ก่อนจะชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาปริมาณเถ้าทั้งหมด (ภาคผนวก ข-5.2)

3.4.11.3 การวิเคราะห์ร้อยละโปรตีนทั้งหมด ด้วยวิธีเจลดาห์ล (A.O.A.C., 2005)

1. ขั้นตอนการย่อย

1.1 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างสาหร่ายจำนวน 1 กรัม และใส่ในหลอดย่อยโปรตีน

1.2 ใส่คะตะลิสต์จำนวน 5 กรัม

1.3 เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 98 จำนวน 20 มิลลิลิตร แล้วเขย่าเบาๆ

1.4 นำไปย่อยภายในเครื่องย่อยที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งจะทำให้สารละลายเปลี่ยนเป็นสีเขียวใส และทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นเติมน้ำกลั่นเล็กน้อย ต้มต่อไปอีก 2 นาที เพื่อทำลายกรดซัลฟูริกที่อาจเกิดขึ้น

2. ขั้นตอนการกลั่น

2.1 นำสารละลายกรดบอริคเข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ในฟลาสก์ จากนั้นหยดอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด ซึ่งสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน นำหลอดย่อยต่อเข้ากับเครื่องกลั่นและวางฟลาสก์ที่บรรจุสารละลายกรดบอริคภายในเครื่องกลั่น และทำการกลั่นเป็นระยะเวลา 4 นาที

3. ขั้นตอนการไทเทรต

3.1 นำสารละลายในฟลาสก์ไทเทรตด้วยสารละลายซัลฟิวริกเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน และคำนวณผลการวิเคราะห์ (ภาคผนวก ข-5.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.12.4 การวิเคราะห์ร้อยละไขมันทั้งหมด (A.O.A.C., 2005)

1. อบฟลาสก์ก้นกลมที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที และทิ้งไว้ให้เย็นภายในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของฟลาสก์ก้นกลม

2. นำตัวอย่างสาหร่ายแห้งจำนวน 1 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรองเบอร์1 และใส่ลงทิมเบิล

3. เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ลงในฟลาสก์ก้นกลมจำนวน 150 มิลลิลิตร หรือจนท่วมตัวอย่าง

4. นำทิมเบิลและฟลาสก์ก้นกลมไปเข้าเครื่องสกัดเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง

5. นำฟลาสก์ก้นกลมไประเหยเอาปิโตรเลียมอีเทอร์ออก ด้วยการอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงทิ้งไว้ให้เย็นภายในโถดูดความชื้น

6. ชั่งน้ำหนักฟลาสก์ก้นกลม และคำนวณหาปริมาณไขมันทั้งหมด (ภาคผนวก ข-5.4)

3.4.12.5 การวิเคราะห์ร้อยคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (A.O.A.C., 2005)

นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ร้อยละปริมาณไขมันทั้งหมด ร้อยละปริมาณโปรตีนทั้งหมด ร้อยละปริมาณความชื้นทั้งหมด และร้อยละปริมาณเถ้าทั้งหมด มาคำนวณเพื่อหาร้อยละคาร์โบไฮเดรต (ภาคผนวก ข-5.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ศึกษาการเจริญและการผลิตพอลิแซคคาไรด์ของสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็กในระดับฟลาสก์

เพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กจำนวน 15 สายพันธุ์ ที่ได้จากการคัดแยกจากแหล่งน้ำธรรมชาติ จำนวน 3 สายพันธุ์ และจากห้องปฏิบัติการสาหร่ายจำนวน 12 สายพันธุ์ (รูปที่ 4.1) ด้วยอาหารเหลวสูตร N-8 ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ในฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง (25 C°) ให้แสงต่อเนื่องที่ความเข้มแสง 2000 ลักซ์ บนเครื่องเขย่าความเร็ว 150 รอบต่อนาที ด้วยอัตราคงที่สม่ำเสมอเป็นเวลา 24 ชั่วโมงตลอดการเพาะเลี้ยง วัดการเจริญของสาหร่ายโดยการนับจำนวนเซลล์ด้วยฮีมาไซโตมิเตอร์ (รูปที่ 4.2) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร (รูปที่ 4.3) วิเคราะห์หาน้ำหนักเซลล์แห้ง (รูปที่ 4.4) ทดสอบหาพอลิแซคคาไรด์เบื้องต้นด้วยวิธีฟีนอลซัลฟิวริก เทียบกับกราฟความเข้มข้นกลูโคสมาตรฐาน (รูปที่ ข-2) และคำนวณหาค่าอัตราการเจริญจำเพาะ (ต่อวัน) ได้ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าอัตราการเจริญจำเพาะ (ต่อวัน) และปริมาณพอลิแซคคาไรด์ของสาหร่ายขนาดเล็ก 15 สายพันธุ์ ในวันที่ 6, 8 และ 10 ของการเพาะเลี้ยง

สายพันธุ์สาหร่าย	ค่าอัตราการเจริญจำเพาะ μ (ต่อวัน)			พอลิแซคคาไรด์ (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)	วันที่เก็บตัวอย่าง
	จำนวนเซลล์ ($x10^7$เซลล์ต่อมิลลิลิตร)	ค่าดูดกลืนแสง	น้ำหนักแห้ง (กรัมต่อลิตร)		
Chlamydomonas sp. B1-59	0.3132	0.3353	0.2894	62.7310 ± 2.17^{gh}	8
Chlorella sp. B2-59	0.3720	0.3530	0.3232	62.0900 ± 0.11^{h}	10
Chlorella sp. A	0.5169	0.3485	0.4292	109.3973 ± 0.62^{a}	8
Chlorella sp. B	0.6382	0.5051	0.4965	62.3463 ± 3.00^{h}	8
Chlorella sp. G	0.5320	0.3789	0.5365	69.3333 ± 0.78^{c}	6
Chlorella sp. KP55	0.4024	0.2641	0.3864	66.5770 ± 0.69^{de}	8
Chlorella sp. V55	0.4388	0.2605	0.3892	64.5257 ± 0.48^{fd}	10
Chlorella sp. 5	0.3372	0.2846	0.4579	62.4100 ± 0.11^{h}	10
Scenedesmus sp. N-59	0.2599	0.4927	0.2981	61.3847 ± 0.19^{h}	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	ค่าอัตราการเจริญจำเพาะ μ (ต่อวัน)			พอลิแซคคาไรด์ (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)	วันที่เก็บตัวอย่าง
	จำนวนเซลล์ ($x10^7$เซลล์ต่อมิลลิลิตร)	ค่าดูดกลืนแสง	น้ำหนักแห้ง (กรัมต่อลิตร)		
Scenedesmus sp. C	0.2012	0.3782	0.2792	108.1793 ± 0.40^{ab}	8
Scenedesmus sp. F9	0.2599	0.3578	0.3276	67.2807 ± 0.11^{d}	8
Scenedesmus sp. F14	0.2310	0.3267	0.3770	63.2433 ± 0.62^{fgh}	6
Scenedesmus sp. M12	0.2240	0.3919	0.3724	64.9103 ± 1.06^{ef}	8
Scenedesmus sp. M14	0.2310	0.5821	0.2986	67.9230 ± 1.00^{cd}	6
Chlorococcum sp. AB1	0.4290	0.3964	0.4394	106.9357 ± 0.97^{b}	10

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันในแนวสดมภ์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

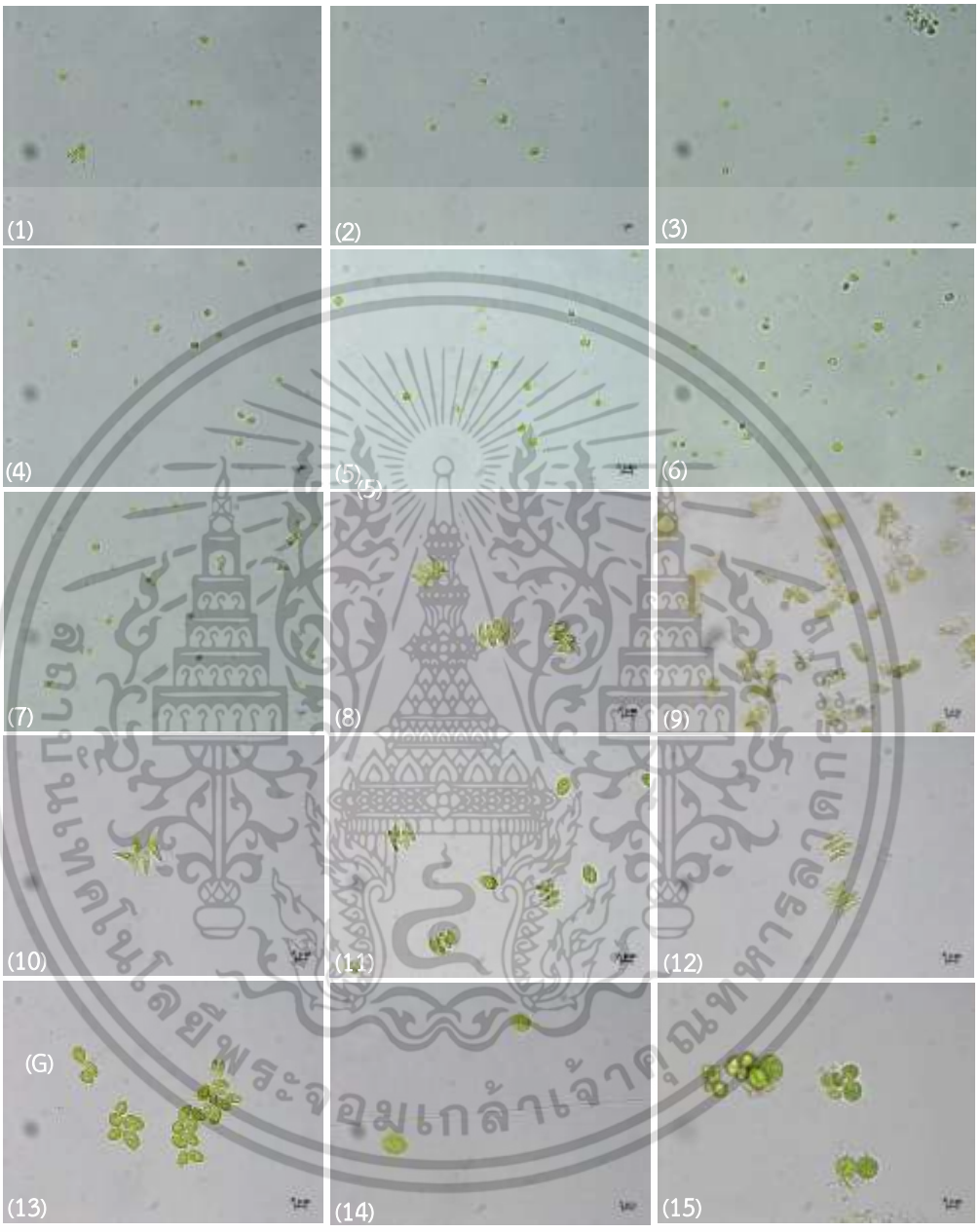
จากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่า สาหร่ายขนาดเล็กทั้ง 15 สายพันธุ์ มีอัตราการเจริญเติบโตและผลได้ของปริมาณพอลิแซคคาไรด์ แตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของสาหร่ายชนิดต่างๆ โดยที่สายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็กที่มีการผลิตสารพอลิแซคคาไรด์สูงสุด 5 สายพันธุ์ ได้แก่ *Chlorella* sp. A, *Scenedesmus* sp. C, *Chlorococcum* sp. AB1, *Chlorella* sp. G และ *Scenedesmus* sp. M14 ซึ่งมีปริมาณพอลิแซคคาไรด์เท่ากับ 109.3973±0.62, 108.1793±0.40, 106.9357±0.97, 69.3333 และ 67.9230 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 4.5)

จากนั้นคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ที่มีการผลิตพอลิแซคคาไรด์สูงสุดและมีผลแปรผันตรงกับค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (ต่อวัน) ซึ่งแสดงถึงการมีอัตราการเจริญเติบโตที่รวดเร็วและผลผลิตน้ำหนักแห้งเหมาะสมแก่การนำไปเพาะเลี้ยงเพื่อเพิ่มปริมาณ ได้แก่ *Chlorococcum* sp. AB1, *Chlorella* sp. A และ *Chlorella* sp. G มีค่าอัตราการเจริญจำเพาะของจำนวนเซลล์ ($x10^7$เซลล์ต่อมิลลิลิตร) เท่ากับ 0.4290, 0.5169 และ 0.5320 ต่อวัน ตามลำดับ ค่าอัตราการเจริญจำเพาะการดูดกลืนแสง เท่ากับ 0.3964, 0.3485 และ 0.3789 ต่อวัน ตามลำดับ และค่าอัตราการเจริญจำเพาะน้ำหนักแห้ง (กรัมต่อลิตร) เท่ากับ 0.4394, 0.4292 และ 0.5365 ต่อวัน ตามลำดับ

ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าอัตราเจริญจำเพาะน้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร) ของสาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorella* sp. A และ *Chlorella* sp. G กับ *Chlorella* sp. TISTR 8432 มีค่าใกล้เคียงกันคือ 0.5890 ต่อวัน (ครรชิต และคณะ, 2559) ส่วนในสาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์

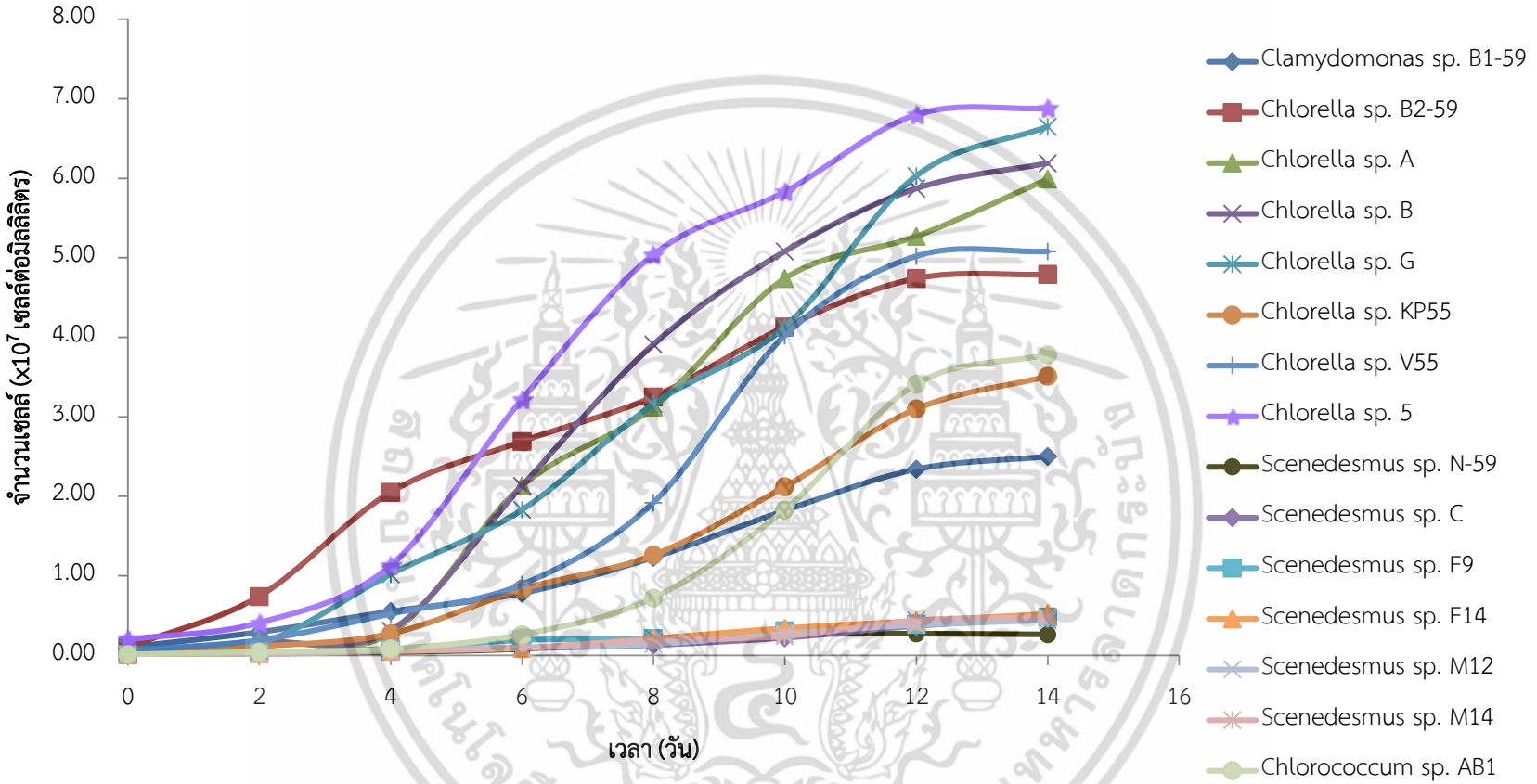
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chlorococcum sp. AB1 มีค่าอัตราการเจริญจำเพาะน้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร) สูงกว่าเมื่อเทียบกับในงานวิจัยเพื่อศึกษาชีวมวลและการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียว *Chlorococcum* sp. เท่ากับ 0.054 ต่อวัน (Omidvar และคณะ, 2013)

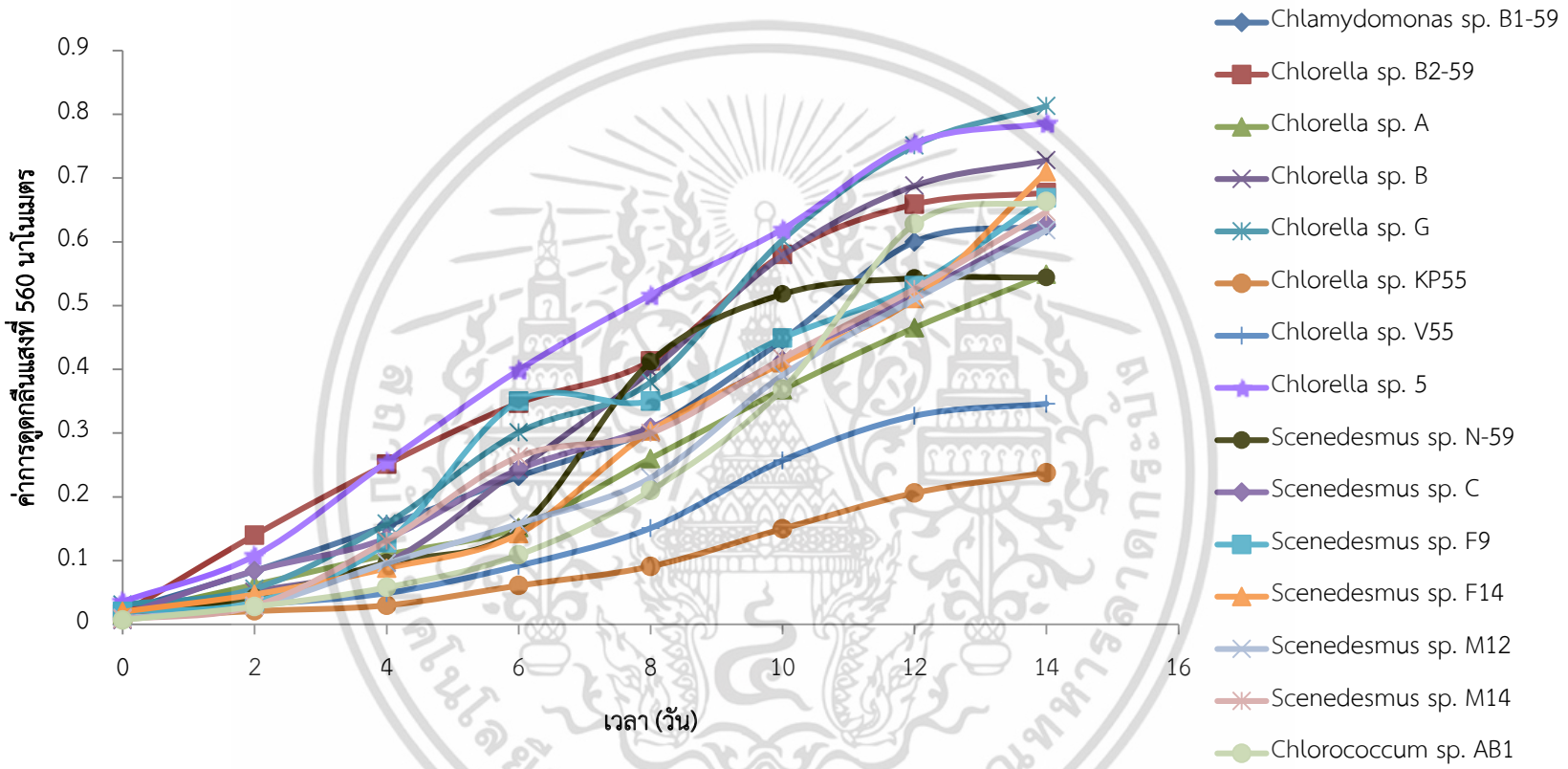


รูปที่ 4.1 สาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก (กำลังขยายภาพ 1000 เท่า) (1) *Chlorella* sp. B2-59, (2) *Chlorella* sp. A, (3) *Chlorella* sp. B, (4) *Chlorella* sp. G, (5) *Chlorella* sp. KP55 , (6) *Chlorella* sp. V55 , (7) *Chlorella* sp. 5 , (8) *Scenedesmus* sp. N-59, (9) *Scenedesmus* sp. C, (10) *Scenedesmus* sp. F9, (11) *Scenedesmus* sp. F14, (12)*Scenedesmus* sp. M12 , (13) *Scenedesmus* sp. M14, (14) *Chlorococcum* sp. AB1 และ (15) *Chlamydomonas* sp. B1-59

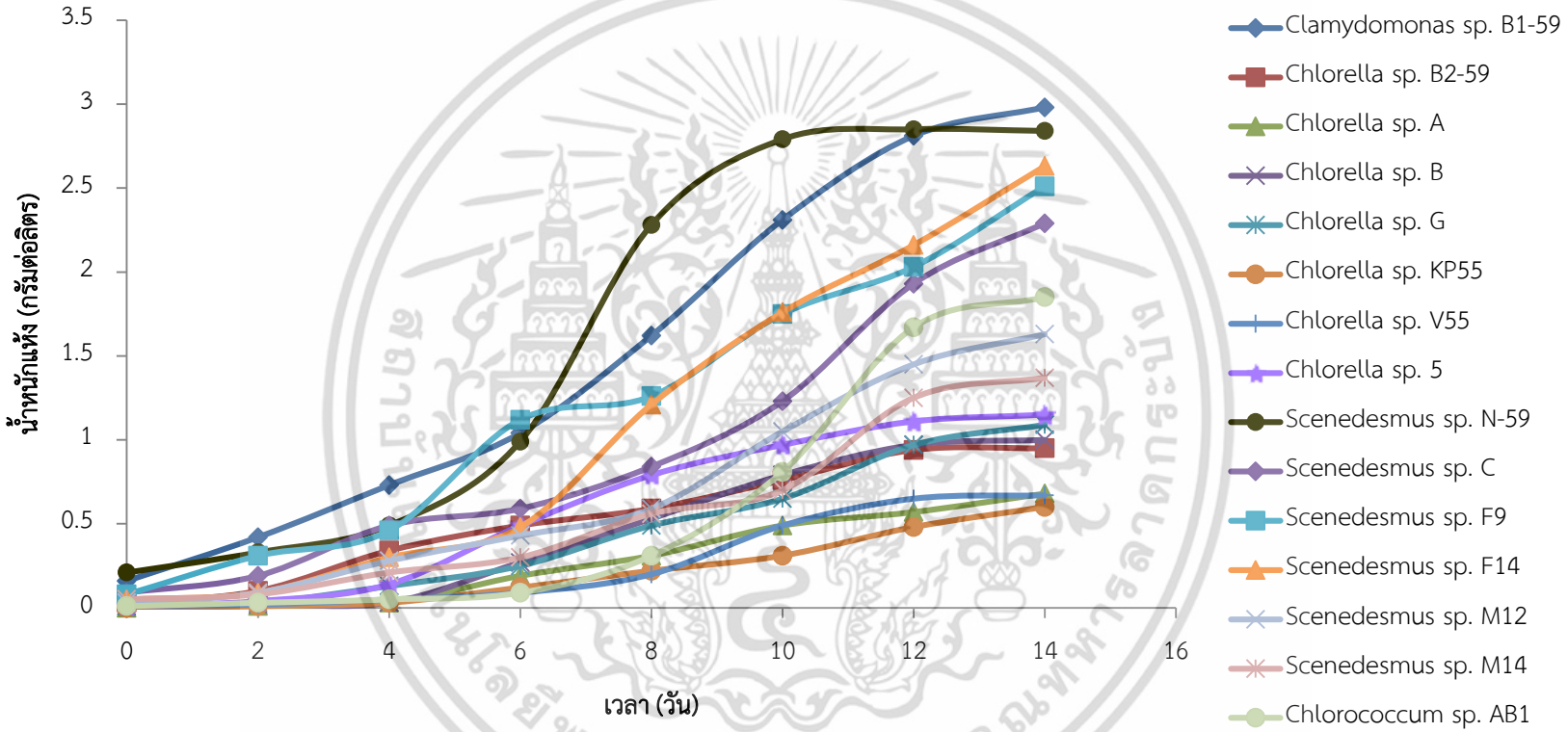
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



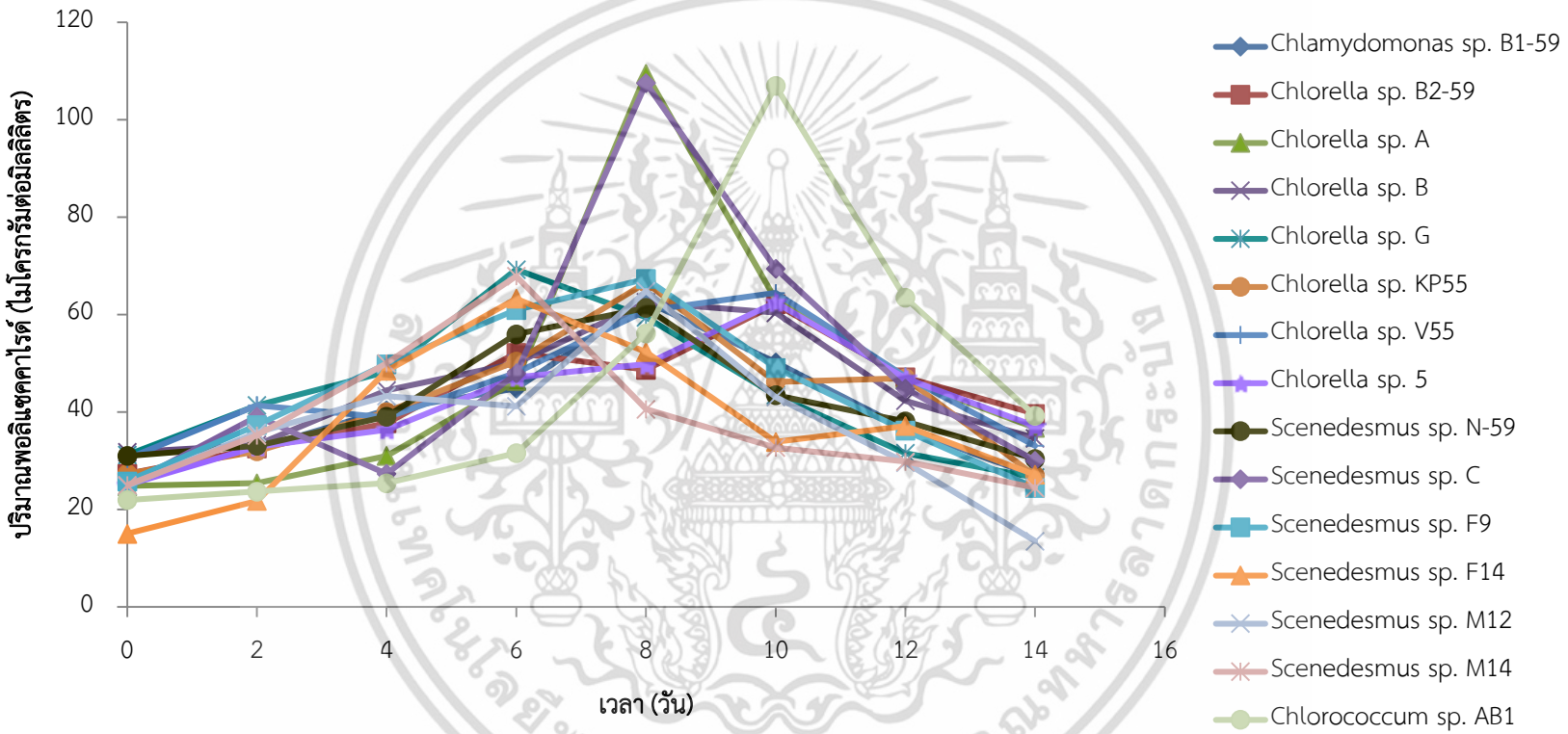
รูปที่ 4.2 จำนวนเซลล์ของสาหร่ายขนาดเล็ก 15 สายพันธุ์ ในระดับฟลาสก์ *Chlamydomonas* sp. B1-59, *Chlorella* sp. B2-59, *Chlorella* sp. A, *Chlorella* sp. B, *Chlorella* sp. G, *Chlorella* sp. KP55, *Chlorella* sp. 5, *Scenedesmus* sp. N-59, *Scenedesmus* sp. C, *Scenedesmus* sp. F9, *Scenedesmus* sp. F14, S*cenedesmus* sp. M12, *Scenedesmus* sp. M14 และ *Chlorococcum* sp. AB1



รูปที่ 4.3 ค่าการดูดกลืนแสงของสาหร่ายขนาดเล็ก 15 สายพันธุ์ ในระดับฟลาสก์ *Chlamydomonas* sp. B1-59, *Chlorella* sp. B2-59, *Chlorella* sp. A, *Chlorella* sp. B, *Chlorella* sp. G, *Chlorella* sp. KP55, *Chlorella* sp. 5, *Scenedesmus* sp. N-59, *Scenedesmus* sp. C, *Scenedesmus* sp. F9, *Scenedesmus* sp. F14, *Scenedesmus* sp. M12, *Scenedesmus* sp. M14 และ *Chlorococcum* sp. AB1



รูปที่ 4.4 น้ำหนักแห้งของสาหร่ายขนาดเล็ก 15 สายพันธุ์ ในระดับฟลาสก์ *Chlamydomonas* sp. B1-59, *Chlorella* sp. B2-59, *Chlorella* sp. A, *Chlorella* sp. B, *Chlorella* sp. G, *Chlorella* sp. Kp55, *Chlorella* sp. 5, *Scenedesmus* sp. N-59, *Scenedesmus* sp. C, *Scenedesmus* sp. F9, *Scenedesmus* sp. F14, *Scenedesmus* sp. M12, *Scenedesmus* sp. M14 และ *Chlorococcum* sp. AB1



รูปที่ 4.5 ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ของสาหร่ายขนาดเล็ก 15 สายพันธุ์ ในระดับฟลาสก์ *Chlamydomonas* sp. B1-59, *Chlorella* sp. B2-59, *Chlorella* sp. A *Chlorella* sp. B, *Chlorella* sp. G, *Chlorella* sp. KP55, *Chlorella* sp. 5, *Scenedesmus* sp. N-59, *Scenedesmus* sp. C, *Scenedesmus* sp. F9, *Scenedesmus* sp. F14, *Scenedesmus* sp. M12, *Scenedesmus* sp. M14 และ *Chlorococcum* sp. AB1

4.2 ศึกษาการเจริญและการผลิตพอลิแซคคาไรด์ของสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง

คัดเลือกสาหร่ายขนาดเล็กที่มีการผลิตสารพอลิแซคคาไรด์สูงสุด 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *Chlorococcum* sp. AB1, *Chlorella* sp. A และ *Chlorella* sp. G เพาะเลี้ยงเพื่อเพิ่มจำนวนด้วยอาหารเหลวสูตร N-8 ปริมาตร 4 ลิตร ภายในถังเพาะเลี้ยงขนาด 6 ลิตร ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง (25 C°) ให้แสงต่อเนื่องที่ความเข้มแสง 5000 ลักซ์ และให้อากาศโดยเครื่องให้อากาศ ด้วยอัตราคงที่สม่ำเสมอเป็นเวลา 24 ชั่วโมงตลอดการเพาะเลี้ยง (รูปที่ 4.9) จากนั้นวัดการเจริญของสาหร่ายขนาดเล็กทั้ง 3 สายพันธุ์ที่คัดเลือก เช่นเดียวกับการเพาะเลี้ยงในระดับฟลาสก์ คำนวณหาค่าอัตราการเจริญจำเพาะและปริมาณพอลิแซคคาไรด์ ได้ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าอัตราการเจริญจำเพาะ (ต่อวัน) และปริมาณพอลิแซคคาไรด์ของสาหร่ายขนาดเล็กจำนวน 3 สายพันธุ์ ในวันที่ 6 และ 8 ของการเพาะเลี้ยง

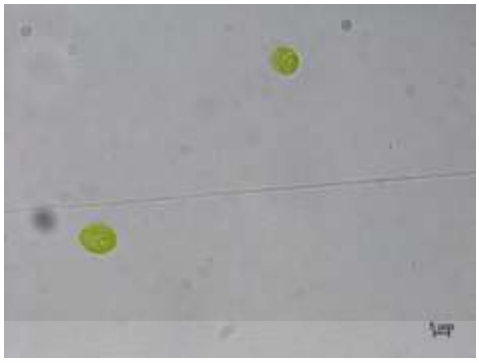
สายพันธุ์	ค่าอัตราการเจริญจำเพาะ μ (ต่อวัน)			พอลิแซคคาไรด์ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)	วันที่เก็บตัวอย่าง
	จำนวนเซลล์ ($x10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)	ค่าดูดกลืนแสง	น้ำหนักแห้ง (กรัมต่อลิตร)		
Chlorococcum sp. AB1	0.3206	0.4037	0.3409	108.3077±2.31[b]	8
Chlorella sp. A	0.5705	0.4038	0.3243	116.0640±4.11[a]	6
Chlorella sp. G	0.5750	0.5036	0.3581	70.4233±2.18[c]	6

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันในแนวสดมภ์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

4.2.1 การเพาะเลี้ยงและการเก็บเกี่ยวสาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorococcum* sp. AB1

จากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กด้วยอาหาร N-8 พบว่าสายพันธุ์ *Chlorococcum* sp. AB1 ลักษณะเซลล์เป็นทรงกลม ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ (รูปที่ 4.6) ภายในมีคลอโรพลาสต์เป็นรูปถ้วย เพาะเลี้ยงสาหร่ายชนิดนี้ในระยะเริ่มต้นการเจริญเติบโตจนกระทั่งเข้าสู่ระยะแบ่งตัวทวีคูณ (รูปที่ 4.10, 4.11 และ 4.12) มีการผลิตสารพอลิแซคคาไรด์สูงสุด เท่ากับ 108.3077±2.31 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 8 ของการเพาะเลี้ยง มีค่าอัตราการเจริญจำเพาะจำนวนเซลล์ ($x10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร) ค่าดูดกลืนแสง และค่าน้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร) เท่ากับ 0.3206, 0.4037 และ 0.3409 ต่อวัน ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 สาหร่าย *Chlorococcum* sp. AB1 (กำลังขยายภาพ 1000 เท่า)

4.1.2 การเพาะเลี้ยงและการเก็บเกี่ยวสาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorella* sp. A

จากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorella* sp. A ในอาหาร N-8 พบว่าลักษณะเซลล์เป็นทรงกลม ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ภายในมีคลอโรพลาสต์รูปทรงกลมอยู่ภายในเซลล์ 1 อัน ขนาดของเซลล์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง สีเขียวของเซลล์เมื่อดูผ่านกล้องจุลทรรศน์พบว่าจางลงเล็กน้อย (รูปที่ 4.7) เพาะลี้ยงสาหร่ายสายพันธุ์นี้จนเข้าสู่ช่วงที่มีการผลิตพอลิแซคาไรด์สูงสุด คือ วันที่ 6 ของการเพาะเลี้ยง โดยมีปริมาณพอลิแซคคาไรด์ เท่ากับ 116.0640±4.11 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าอัตราการเจริญจำเพาะจำนวนเซลล์ (x10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร) ค่าการดูดกลืนแสง และน้ำหนักแห้งเซลล์ (กรัมต่อลิตร) เท่ากับ 0.5705, 0.4038 และ 0.3243 ต่อวัน ตามลำดับ

รูปที่ 4.7 สาหร่าย *Chlorella* sp. A (กำลังขยายภาพ 1000 เท่า)

4.1.3 การเพาะเลี้ยงและเก็บเกี่ยวสาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorella* sp. G

จากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorella* sp. G ในอาหาร N-8 พบว่าลักษณะเซลล์เป็นทรงกลม ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ภายในมีคลอโรพลาสต์รูปทรงกลมอยู่ภายในเซลล์ 1 อัน สาหร่ายชนิดนี้ ในระยะเริ่มการเจริญเติบโตระยะปรับตัว (Lag phase) ลักษณะทางกายภาพภายนอกของเซลล์มีขนาดเล็ก แต่เมื่อทำการเพาะเลี้ยงไปประมาณ 3 วัน ในถังเพาะเลี้ยงขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6 ลิตร พบว่ารูปร่างของเซลล์ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่มากขึ้นหรือเซลล์มีขนาดใหญ่ขึ้นจากระยะแรก (รูปที่ 4.8) เพาะเลี้ยงสาหร่ายสายพันธุ์นี้จนเข้าสู่ช่วงที่มีการผลิตพอลิแซคคาไรด์สูงสุด ซึ่งอยู่ในช่วงระยะการแบ่งตัวทวีคูณ (รูปที่ 4.10, 4.11 และ 4.12) ในวันที่ 6 ของการเพาะเลี้ยง มีปริมาณพอลิแซคคาไรด์ เท่ากับ 70.4233±2.18 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าอัตราการเจริญจำเพาะ จำนวนเซลล์ (x10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร) ค่าการดูดกลืนแสง และน้ำหนักแห้งเซลล์ (กรัมต่อลิตร) เท่ากับ 0.5750 , 0.5036 และ 0.3581 ต่อวัน ตามลำดับ

รูปที่ 4.8 สาหร่าย *Chlorella* sp. G (กำลังขยายภาพ 1000 เท่า)

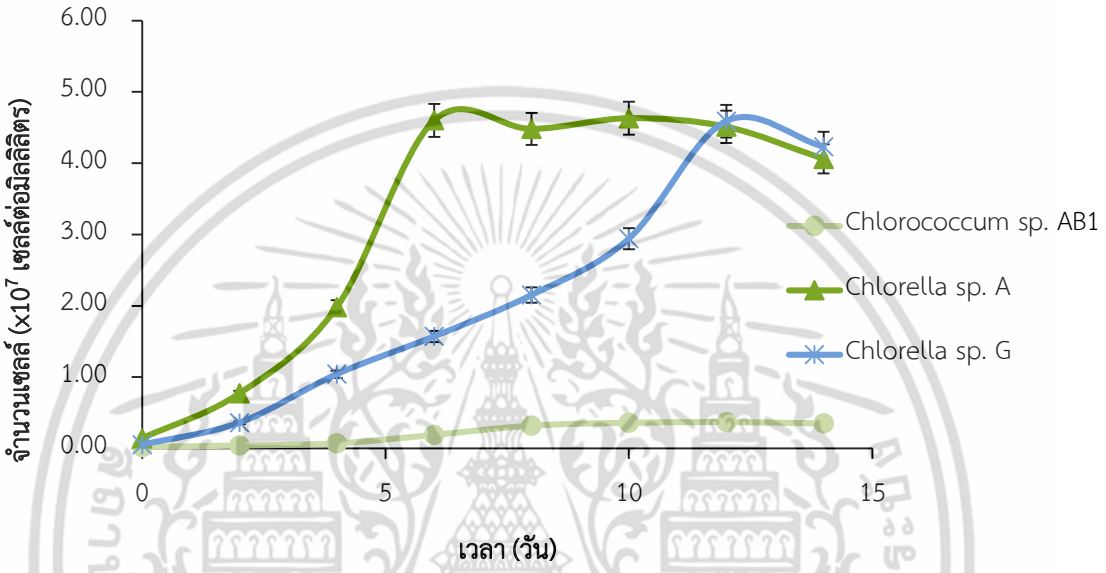
รูปที่ 4.9 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในถังเลี้ยงขนาด 6 ลิตร ปริมาตร 4 ลิตร ด้วยอาหารเหลวสูตร N-8 ของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ (1) *Chlorococcum* sp. AB1, (2) *Chlorella* sp. A และ (3) *Chlorella* sp. G

จากตารางที่ 4.2 พบว่า สาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorella* sp. A มีปริมาณพอลิแซคคาไรด์สูงที่สุด คือ 116.0640±4.11 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร รองลงมาคือ *Chlorococcum* sp. AB1 และ *Chlorella* sp. G มีปริมาณพอลิแซคคาไรด์ 108.3077±2.31 และ 70.4233±2.18 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

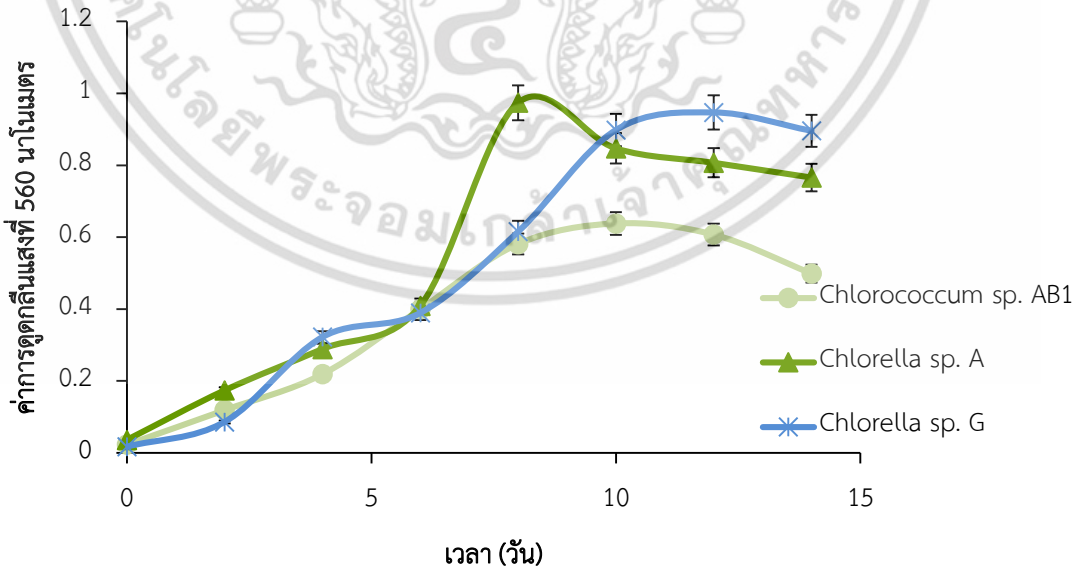
เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ El-Sheek และคณะ (2012) รายงานผลปริมาณพอลิแซคคาไรด์ที่สะสมอยู่ภายในเซลล์ของสาหร่ายขนาดเล็ก *Microcystis aeruginosa* ที่เพาะเลี้ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในฟลาสก์ขนาด 1 ลิตร ปริมาตรอาหาร 400 มิลลิลิตร พบว่า ในวันที่ 6 ของชุดควบคุมการเพาะเลี้ยงในระยะการเจริญแบบทวีคูณ สาหร่ายขนาดเล็ก *Microcystis aeruginosa* สามารถผลิตพอลิแซคคาไรด์สูงกว่าสาหร่ายขนาดเล็กทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่ศึกษาในครั้งนี้ คือ 275±22 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เช่นเดียวกับในงานวิจัยของ กิตติมาภรณ์ และภาณุพงษ์ (2557) รายงานผลปริมาณพอลิแซคคาไรด์ของสาหร่ายวากาเมะที่วิเคราะห์ด้วยวิธีฟีนอลซัลฟิวริก ได้ 379.17 มิลลิกรัมสมมูลกาแล็กโตสต่อกรัม

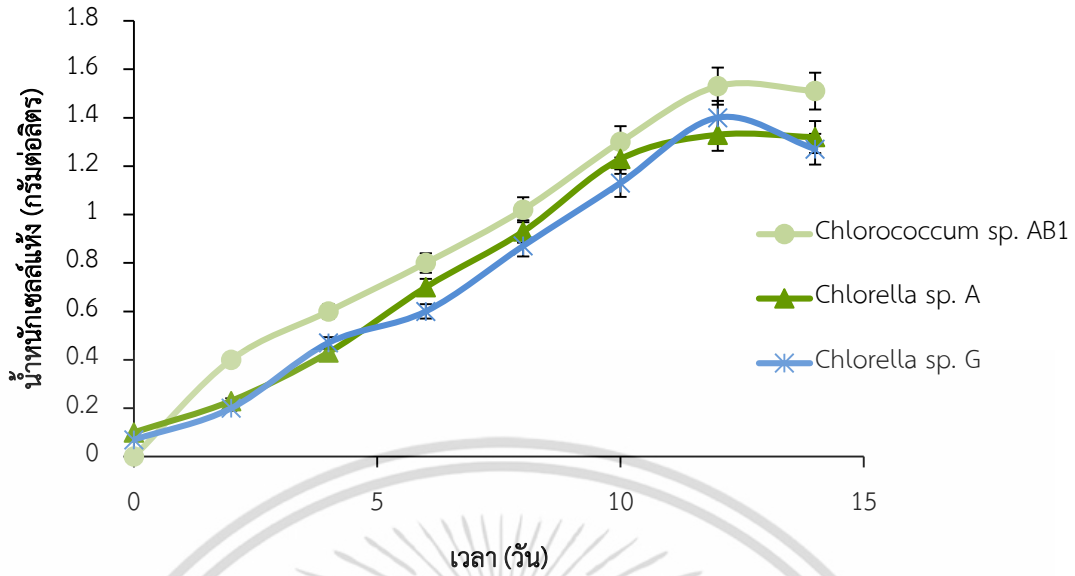


รูปที่ 4.10 จำนวนเซลล์ของสาหร่ายขนาดเล็กที่คัดเลือก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง ได้แก่ *Chlorococcum* sp. AB1, *Chlorella* sp. A, และ *Chlorella* sp. G

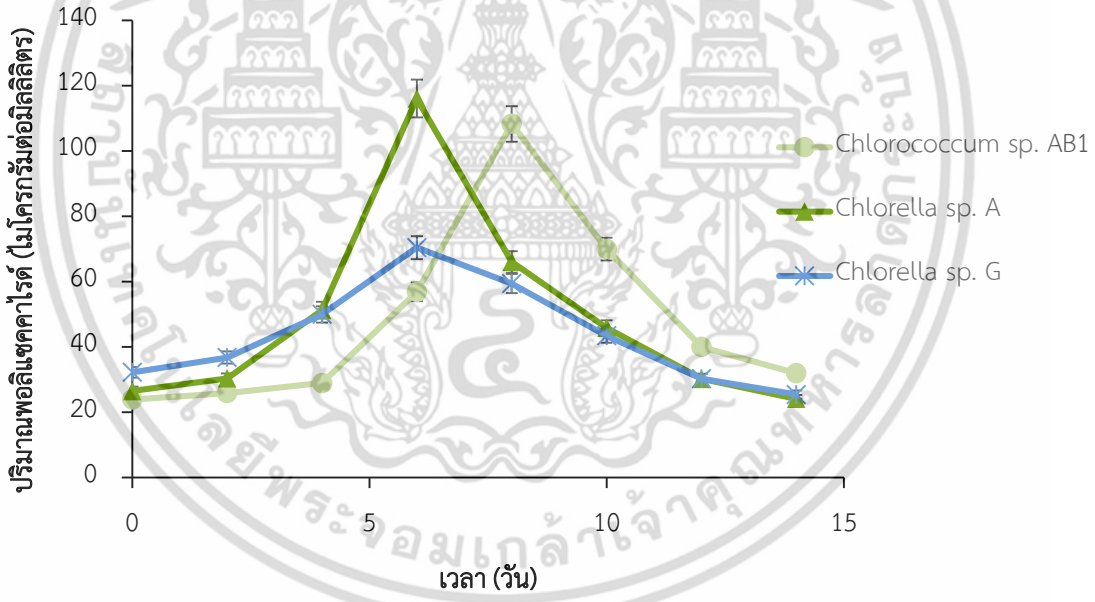


รูปที่ 4.11 ค่าการดูดกลืนแสงของสาหร่ายขนาดเล็กที่คัดเลือก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง ได้แก่ *Chlorococcum* sp. AB1, *Chlorella* sp. A, และ *Chlorella* sp. G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 น้ำหนักแห้งของสาหร่ายขนาดเล็กที่คัดเลือก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง ได้แก่ *Chlorococcum* sp. AB1, *Chlorella* sp. A, และ *Chlorella* sp. G



รูปที่ 4.13 ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ของสาหร่ายขนาดเล็กที่คัดเลือก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง ได้แก่ *Chlorococcum* sp. AB1, *Chlorella* sp. A, และ *Chlorella* sp. G

4.2.1 ผลได้ร้อยละน้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่ายขนาดเล็กที่เพาะเลี้ยงในระดับถัง

เก็บเกี่ยวเซลล์สาหร่ายขนาดเล็กทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่คัดเลือก ได้แก่ *Chlorococcum* sp. AB1, *Chlorella* sp. A และ *Chlorella* sp. G จากถังเพาะเลี้ยงขนาด 6 ลิตร ในวันที่ 8, 6 และ 6 ของการเพาะเลี้ยง ตามลำดับ เนื่องจากเป็นวันที่มีการผลิตพอลิแซคคาไรด์สูงที่สุด อบตะกอนเซลล์แห้งของสาหร่ายขนาดเล็กทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (รูปที่ 4.14)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำมาบดให้เป็นผงละเอียด (รูปที่ 4.15) และชั่งน้ำหนักเพื่อหาผลได้ร้อยละน้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่ายขนาดเล็กที่เพาะเลี้ยงในระดับถัง ได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ที่คัดเลือก ในวันที่ 6 และ 8 ของการเพาะเลี้ยงในระดับถัง

สาหร่าย	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร)	ร้อยละน้ำหนักเซลล์แห้ง	วันที่เก็บตัวอย่าง
Chlorococcum sp. AB1	0.7291	0.0729±0.23[a]	8
Chlorella sp. A	0.6018	0.0602±0.03[a]	6
Chlorella sp. G	0.5941	0.0594±0.13[a]	6

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันในแนวสดมภ์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (*p>0.05*)

รูปที่ 4.14 ตะกอนเซลล์สาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในถังขนาด 6 ลิตร หลังอบ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง (1) *Chlorococcum* sp. AB1, (2) *Chlorella* sp. A และ (3) *Chlorella* sp. G

รูปที่ 4.15 ผงตะกอนหลังบดละเอียดของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในถังขนาด 6 ลิตร ในวันที่ 8, 6 และ 6 ของการทดลอง ตามลำดับ (1) *Chlorococcum* sp. AB1, (2) *Chlorella* sp. A และ (3) *Chlorella* sp. G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลได้สารสกัดพอลิแซคคาไรด์ และผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไฮยาลูโรนิค เบื้องต้นด้วยวิธีคาร์บาโซล

จากการสกัดสารพอลิแซคคาไรด์ในสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ที่คัดเลือก ได้แก่ *Chlorococcum* sp. AB_1, *Chlorella* sp. A และ *Chlorella* sp. G โดยนำเซลล์สาหร่ายแห้งจากข้อ 4.3 มาสกัดด้วยตัวทำละลาย 2 ชนิด ได้แก่ เอทานอลร้อยละ 95 และน้ำ จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาปริมาณกรดไฮยารูโลนิคเบื้องต้นในรูปของกรดยูโรนิค โดยเทียบจากกราฟความเข้มข้นสารมาตรฐานดีกลูคูโรโนแลคโตน (รูปที่ ข-3) ของสารสกัดหยาบสาหร่ายขนาดเล็กทั้ง 3 สายพันธุ์ ได้ผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ปริมาณกรดไฮยาลูโรนิค และผลได้ (ร้อยละ) ของสารสกัดพอลิแซคคาไรด์ที่สกัดด้วยน้ำและเอทานอล จากสาหร่ายขนาดเล็กที่คัดเลือก 3 สายพันธุ์ ในวันที่ 8, 6 และ 6 ของการเพาะเลี้ยง

สารสกัด	สายพันธุ์	ผลได้สารสกัดพอลิแซคคาไรด์		ปริมาณกรดไฮยาลูโรนิค (ไมโครกรัมกรดยูโรนิคต่อมิลลิกรัม)
		น้ำหนักสารสกัด (กรัมต่อลิตร)	ร้อยละสารสกัด (w/w%)	
น้ำ	*Chlorococcum* sp. AB_1	0.2918	29.18 ± 1.65^{a}	0.87 ± 0.03^{b} (+)
	Chlorella sp. A	0.2639	26.39 ± 9.19^{ab}	0.75 ± 0.02^{c} (+)
	Chlorella sp. G	0.2347	23.47 ± 3.92^{ab}	0.54 ± 0.05^{d} (+)
เอทานอล	*Chlorococcum* sp. AB_1	0.1482	14.82 ± 7.62^{ab}	2.35 ± 0.03^{a} (+)
	Chlorella sp. A	0.1203	12.03 ± 4.36^{a}	(-)
	Chlorella sp. G	0.1207	12.07 ± 2.69^{a}	(-)

หมายเหตุ (+) แสดงผลเมื่อมีกรดยูโรนิค (สารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูหรือม่วงถึงสีม่วงเข้ม)

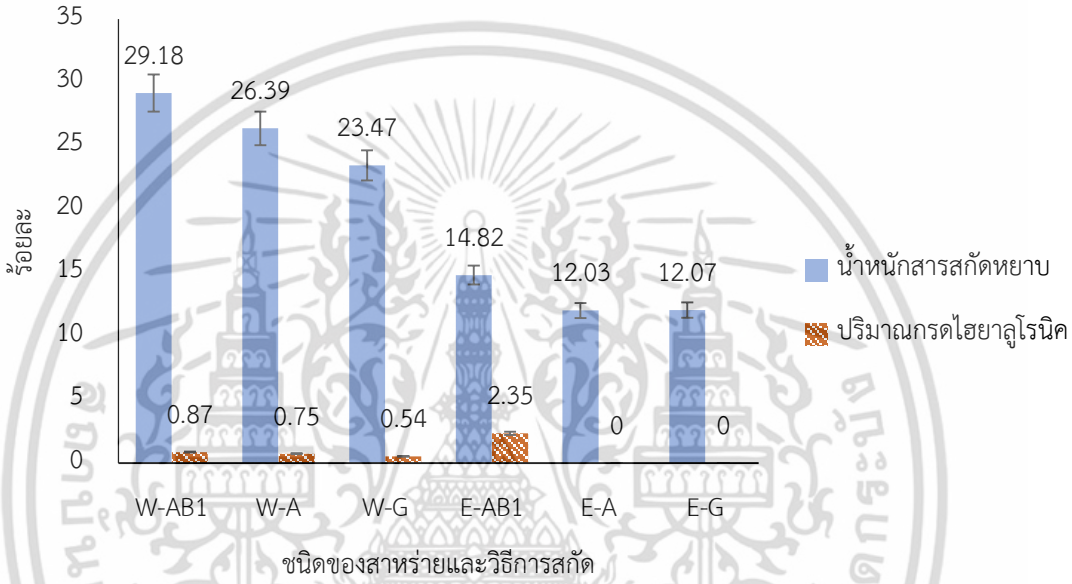
(-) แสดงผลเมื่อไม่มีกรดยูโรนิค (สารละลายไม่เปลี่ยนสีหรือสีส้มอ่อน)

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันในแนวสดมภ์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

จากการทดลองพบว่าสาหร่ายขนาดเล็กที่สกัดด้วยน้ำมีปริมาณสารสกัดมากที่สุดคือ *Chlorococcum* sp. AB1 รองลงมาคือ *Chlorella* sp. A และ *Chlorella* sp. G มีปริมาณสารสกัด 0.2918, 0.2639 และ 0.2347 กรัม หรือร้อยละ 29.18, 26.39 และ 23.47 โดยมวล ตามลำดับ และสาหร่ายขนาดเล็กที่สกัดด้วยเอทานอลมีปริมาณสารสกัดมากที่สุดคือ *Chlorococcum* sp. AB1 รองลงมาคือ *Chlorella* sp. G และ *Chlorella* sp. A มีปริมาณสารสกัด 0.1482, 0.1207 และ 0.1203 กรัม หรือร้อยละ 14.82, 12.07 และ 12.03 โดยมวล ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) โดยที่การสกัดด้วยน้ำให้ปริมาณสารสกัดหยาบมากกว่าการใช้เอทานอลในการสกัดสาหร่ายขนาดเล็กทั้ง 3 สายพันธุ์ (รูปที่ 4.16) เช่นเดียวกับในงานวิจัยของวสันต์ และคณะ (2557) พบว่า การสกัดสาหร่ายเขากวาง (*Gracilaria changii*) ให้ปริมาณสารสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากที่สุดร้อยละ 55.53 ในขณะที่การสกัดสารจากสาหร่ายโดยใช้เอทานอล พบว่าสารสกัดหยาบจากสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera*) ให้ปริมาณสารสกัดมากที่สุด เท่ากับร้อย 17.46 ซึ่งเป็นผลมาจากความมีขั้ว (polarity) ของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด โดยน้ำจัดเป็นตัวทำละลายที่มีความมีขั้วสูง (ดัชนีความมีขั้วเท่ากับ 10.2) ส่วนเอทานอลจัดเป็นตัวทำละลายที่มีความมีขั้วระดับปานกลาง (ดัชนีความมีขั้วเท่ากับ 5.1) ส่งผลต่อปริมาณสารสกัดที่ได้ เนื่องจากสารที่พบในสาหร่ายส่วนใหญ่เป็นสารที่มีขั้ว ดังนั้นการใช้น้ำซึ่งมีความมีขั้วสูงจึงสามารถสกัดสารสกัดได้ในปริมาณที่สูงกว่าการใช้เอทานอล (จันทนา และอนงค์, 2555)



รูปที่ 4.16 ผลได้ (ร้อยละ) ของน้ำหนักสารสกัดหยาบโดยมวล (กรัมต่อกรัม) และปริมาณกรดไฮยาลูโรนิค (ไมโครกรัมกรดยูโรนิคต่อมิลลิกรัม) จากสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ที่สกัดด้วยน้ำและเอทานอล

W-AB_1 : *Chlorococcum* sp. AB_1 สกัดด้วยน้ำ W-A : *Chlorella* sp. A สกัดด้วยน้ำ
W-G : *Chlorella* sp. G สกัดด้วยน้ำ E-AB_1 : *Chlorococcum* sp. AB_1 สกัดด้วยเอทานอล
E-A : *Chlorella* sp. A สกัดด้วยเอทานอล E-G : *Chlorella* sp. G สกัดด้วยเอทานอล
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันในแนวสดมภ์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

การวิเคราะห์ปริมาณกรดไฮยาลูโรนิคเบื้องต้นด้วยวิธีคาร์บาโซล พบว่า สารสกัดสาหร่ายที่สกัดด้วยเอทานอลของสาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorella* sp. A *และ Chlorella* sp. G ไม่พบกรดไฮยาลูโรนิค สารละลายมีสีส้มอ่อน (รูปที่ 4.17) แต่สามารถพบได้ในสารสกัดสาหร่ายที่สกัดด้วยเอทานอลของสาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorococcum* sp. AB1 ซึ่งแสดงผลว่ามีปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดไฮยาลูนิคสูงสุด เท่ากับ 2.35±0.03 ไมโครกรัมกรดยูโรนิคต่อมิลลิกรัม รองลงมาคือ สารสกัดที่สกัดด้วยน้ำของสาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorococcum* sp. AB1, *Chlorella* sp. A และ *Chlorella* sp. G มีปริมาณกรดไฮยาลูนิค เท่ากับ 0.87±0.03, 0.75±0.02 และ 0.54±0.05 ไมโครกรัมกรดยูโรนิคต่อมิลลิกรัม ตามลำดับ สารละลายมีสีชมพูจนถึงม่วง (รูปที่ 4.17) แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (*p>0.05*)

รูปที่ 4.17 การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไฮยาลูโรนิคเบื้องต้น ด้วยวิธีคาร์บาโซล

(1) *Chlorococcum* sp. AB_1 สกัดด้วยเอทานอล (2) *Chlorococcum* sp. AB_1 สกัดด้วยน้ำ

(3) *Chlorella* sp. A สกัดด้วยเอทานอล (4) *Chlorella* sp. A สกัดด้วยน้ำ

(5) *Chlorella* sp. G สกัดด้วยเอทานอล (6) *Chlorella* sp. G สกัดด้วยน้ำ

เมื่อเปรียบเทียบผลของปริมาณกรดไฮยาลูโรนิคจากสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ที่สกัดด้วยน้ำและเอทานอล พบว่า มีปริมาณของกรดไฮยาลูโรนิคอยู่ในช่วง 0.55-2.35 ไมโครกรัมกรดยูโรนิคต่อมิลลิกรัม ซึ่งน้อยกว่ารายงานการสารสกัดกรดไฮยาลูโรนิคจากหงอนไก่ในเพศผู้และเพศเมียของพิมพ์พร (2556) รายงานว่า สามารถสกัดกรดไฮยาลูโรนิคได้อยู่ในช่วง 1.28-4.97 ไมโครกรัมกรดยูโรนิคต่อมิลลิกรัม และจากศึกษาความหลากหลายของโมโนแซคคาไรด์ในสาหร่ายขนาดเล็กของ Ortiz-Tena และคณะ (2016) พบว่า มีปริมาณกรดยูโรนิคบริสุทธ์จาก *Chlorella vulgaris* โดยวิธีปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรดไตรฟูโอโร (TFA-Hydrolysis) เท่ากับ 3.9±0.3 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม ซึ่งมีปริมาณมากกว่าสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็ก *Chlorococcum* sp. AB1 ในการศึกษาครั้งนี้

4.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดหยาบจากสาหร่ายขนาดเล็ก

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัดที่ใช้กับร้อยละการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กที่มีปริมาณไฮยาลูโรนิคมากที่สุด 2 สายพันธุ์ ที่สกัดด้วยน้ำมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH มากที่สุดคือ *Chlorococcum* sp. AB1 ที่ความเข้มข้น 1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับร้อยละ 42.0±1.26 รองลงมาคือ *Chlorella* sp. A ที่ความเข้มข้น 1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร *Chlorococcum* sp. AB1 ที่ความเข้มข้น 500 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และ *Chlorella* sp. A ที่ความเข้มข้น 500 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับร้อยละ 39.1±1.67, 38.4±0.52 และ 34.9±1.67 ตามลำดับ โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัดที่ใช้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีปริมาณไฮยาลูโรนิคมากที่สุด 2 สายพันธุ์ ที่สกัดด้วยเอทานอลมีร้อยละการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH มากที่สุดคือ *Chlorococcum* sp. AB1 ที่ความเข้มข้น 1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 40.5±0.05 รองลงมาคือ *Chlorococcum* sp. AB1 ที่ความเข้มข้น 500 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 38.2±0.68 ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัดที่ใช้กับร้อยละการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กที่มีปริมาณไฮยาลูโรนิคมากที่สุด 2 สายพันธุ์ ที่สกัดด้วยน้ำและเอทานอล (% Scavenging activity on DPPH radical)

สารสกัด	สายพันธุ์สาหร่าย	ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)	การออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (%)
เอทานอล	*Chlorococcum* sp. AB1	1000	40.5±0.05^{ab}
		500	38.2±0.68^{c}
น้ำ	*Chlorococcum* sp. AB1	1000	42.0±1.26^{a}
		500	38.4±0.52^{c}
น้ำ	*Chlorella* sp. A	1000	39.1±0.76^{bc}
		500	34.9±1.67^{d}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันในแนวสดมภ์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

สารสกัดจากสาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorella* sp. A ที่สกัดด้วยตัวทำละลายน้ำและสารสกัดจากสาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorococcum* sp. AB1 ที่สกัดด้วยน้ำและเอทานอล พบว่ามีศักยภาพในการเป็นสารต้านอนุมูลได้เป็นอย่างดี โดยที่สารสกัดที่มีความเข้มข้นสูงจะมีร้อยละการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีกว่าสารสกัดที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการสกัดด้วยน้ำและเอทานอลของสารสกัดสาหร่าย *Chlorococcum* sp. AB1 ที่ความเข้มข้น 1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีร้อยละการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ 40.5±0.05 และ 42.0±1.26 ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) เช่นเดียวกับรายงานของวสันต์ และคณะ (2557) พบว่าสารสกัดหยาบที่สกัดด้วยน้ำและเอทานอลจากสาหร่ายทุ่น (*Sargassum oligocystum*) มีประสิทธิภาพในการขจัดอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ 118.24±9.76 และ 121.33±4.89 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) โดยสาหร่ายทุ่นมีองค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในกลุ่ม phlorotannins ซึ่งจัดว่าเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงที่พบเฉพาะกลุ่มสาหร่ายสีน้ำตาล ทำให้สาหร่ายทุ่นมีประสิทธิภาพในการขจัดอนุมูล DPPH ที่สูงกว่าสารสกัดจากสาหร่ายชนิดอื่นๆ (Wang และคณะ, 2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การศึกษาผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ที่มีพอลิแซคคาไรด์สูงสุด

นำผงบดละเอียดของสาหร่ายขนาดเล็กที่มีการผลิตพอลิแซคคาไรด์สูงสุด 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *Chlorococcum* sp. AB_1, *Chlorella* sp. A และ *Chlorella* sp. G จากข้อ 4.3 มาวิเคราะห์หาร้อยละขององค์ประกอบเคมีได้ผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.6 ร้อยละขององค์ประกอบเคมีของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ในวันที่ 14 ของการเพาะเลี้ยง

สายพันธุ์	องค์ประกอบเคมี (%)				
	คาร์โบไฮเดรต	ไขมัน	โปรตีน	ความชื้น	เถ้า
Chlorococcum sp. AB_1	70.4±0.64^{a}	0.95±0.56^{a}	11.7±0.13^{c}	6.0±0.07^{b}	10.98±0.04^{c}
Chlorella sp. A	54.9±0.60^{b}	0.36±0.08^{a}	25.5±0.25^{b}	5.7±0.35^{b}	13.59±0.06^{a}
Chlorella sp. G	38.2±1.13^{c}	0.37±0.20^{a}	40.3±0.12^{a}	8.5±0.64^{a}	12.62^{b}±0.16^{b}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันในแนวสดมภ์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 (*p>0.05*)

จากตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของสาหร่ายขนาดเล็กที่คัดเลือก 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *Chlorococcum* sp. AB1, *Chlorella* sp. A และ *Chlorella* sp. G แสดงผลดังนี้

4.7.1 สาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorococcum* sp. AB1

มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต และไขมันสูงที่สุด ร้อยละ 70.4±0.64 และ 0.95±0.56 ตามลำดับ มีปริมาณโปรตีน ความชื้น และเถ้าเป็นลำดับที่ 3, 2 และ 3 ตามลำดับ ร้อยละ 11.7±0.13, 6.0±0.07 และ 10.98±0.04 ตามลำดับ

4.7.2 สาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorella* sp. A

มีปริมาณเถ้าสูงที่สุด ร้อยละ 13.59±0.06 และมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน และความชื้นเป็นลำดับที่ 2, 3, 2, และ 3 ตามลำดับ ร้อยละ 54.9±0.60, 0.36±0.08, 25.5±0.25, และ 5.7±0.35 ตามลำดับ

4.7.3 สาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorella* sp. G

มีปริมาณโปรตีนและความชื้นสูงสุด ร้อยละ 40.3±0.12 และ 8.5±0.64 ตามลำดับ มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต ไขมันและเถ้าเป็นลำดับที่ 3, 2 และ 2 ร้อยละ 38.2±1.13, 0.37±0.20, และ 12.62±0.16 ตามลำดับ

จากการศึกษาผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ที่มีพอลิแซคคาไรด์สูงสุด พบว่า สาหร่ายขนาดเล็กแต่ละสายพันธุ์จะมีปริมาณขององค์ประทางเคมีแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาวะการเพาะเลี้ยง ที่เป็นตัวแปรที่สำคัญต่อการแสดงให้เห็นถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย โดยที่มีปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ ที่ส่งเสริมการเจริญ ตัวอย่างเช่น ธาตุอาหาร ปริมาณแสง และอากาศ เป็นต้น

เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Kent และคณะ (2015) ศึกษาความเหมาะสมทางชีวภาพของสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็กพื้นเมืองในออสเตรเลีย โดยเพาะเลี้ยงแบบกะ ให้แสงเป็นเวลา 18 ชั่วโมง วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น เถ้า ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และโปรตีน ของ *Chlorella* sp. ได้ปริมาณความชื้น ร้อยละ 1.30 ปริมาณเถ้า ร้อยละ 5.71 ปริมาณไขมัน ร้อยละ 16.15 ตามลำดับ ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 24.93 ตามลำดับ และปริมาณโปรตีน ร้อยละ 39.98 พบว่า องค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากการทดลองของสาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorella* sp. A และ *Chlorella* sp. G มีปริมาณมากกว่า

หากเปรียบเทียบสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็ก *Chlorococcum* sp. AB1 กับ Patel และคณะ (2017) รายงานผลจากการศึกองค์ประกอบทางเคมี พบว่า สาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorococcum* sp. มีปริมาณไขมัน ร้อบละ 19.30 ซึ่งมากกว่าสาหร่ายขนาดเล็ก *Chlorococcum* sp. AB1 และจากรายงานของ Ota และคณะ (2009) พบว่า ผลได้ปริมาณโปรตีน ความชื้น และเถ้ามีค่ามากกว่า คือ ร้อยละ 37.90, 77.5 และ 25.76 ตามลำดับ และผลได้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตมีค่าน้อยกว่า คือ ร้อยละ 33.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลวิจัย

คัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ที่มีการผลิตพอลิแซคคาไรด์และอัตราการเจริญสูงสุดจากสาหร่ายขนาดเล็ก 15 สายพันธุ์ ที่เพาะเลี้ยงในระดับฟลาสก์ พบว่า *Chlorella* sp. A มีปริมาณพอลิแซคคาไรด์สูงที่สุด คือ 116.0640±4.11 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร รองลงมาคือ *Chlorococcum* sp. AB1 และ *Chlorella* sp. G มีปริมาณพอลิแซคคาไรด์ เท่ากับ 108.3077±2.31 และ 70.4233±2.18 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ในการเพาะเลี้ยงระดับถังของระยะการแบ่งตัวแบบทวีคูณ

ผลการวิเคราะห์ร้อยละผลได้สารสกัดด้วยตัวทำละลายน้ำและเอทานอล พบว่า สารสกัดที่สกัดด้วยน้ำของ *Chlorococcum* sp. AB1 มีปริมาณร้อยละผลได้สารสกัดหยาบสูงที่สุด คือ 29.18±1.65 รองลงมาคือ *Chlorella* sp. A และ *Chlorella* sp. G มีร้อยละผลได้สูงกว่าสารสกัดที่ด้วยสกัดเอทานอล เท่ากับ 26.39±9.19 และ 23.47±3.92 ตามลำดับ

การวิเคราะห์ปริมาณกรดไฮยาลูโรนิคในรูปกรดยูโรนิคเบื้องต้น ด้วยวิธีคาร์บาโซล พบว่า สารสกัดสาหร่ายที่สกัดด้วยเอทานอลของ *Chlorococcum* sp. AB1 มีปริมาณร้อยละกรดไฮยาลูโรนิคสูงที่สุด คือ 2.35±0.03 ไมโครกรัมกรดยูโรนิคต่อมิลลิกรัม รองลงมาคือ สารสกัดสาหร่ายที่สกัดด้วยน้ำของ *Chlorococcum* sp. AB1, *Chlorella* sp. A และ *Chlorella* sp. G มีปริมาณร้อยละกรดไฮยาลูโรนิค เท่ากับ 0.88±0.03, 0.75±0.02 และ 0.54±0.05 ไมโครกรัมกรดยูโรนิคต่อมิลลิกรัม ตามลำดับ

การทดสอบคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่ความเข้มข้น 1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่า สารสกัดที่สกัดด้วยน้ำของสาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorococcum* sp. AB1 มีร้อยละการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด คือ 42.0±1.26 รองลงมาคือ สารสกัดที่สกัดด้วยเอทานอลของ *Chlorococcum* sp. AB1 และสารสกัดที่สกัดด้วยน้ำของ *Chlorella* sp. A มีร้อยละการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ 40.5±0.05 และ 39.1±0.76 ตามลำดับ

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า *Chlorococcum* sp. AB_1 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและไขมันสูงที่สุด ร้อยละ 70.4±0.64 และ 0.95±0.56 ตามลำดับ *Chlorella* sp. A มีปริมาณเถ้าสูงที่สุด ร้อยละ 13.59±0.06 และ *Chlorella* sp. G มีปริมาณโปรตีนและความชื้นสูงที่สุด ร้อยละ 40.3±0.12 และ 8.5±0.64 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การวิเคราะห์หาปริมาณพอลิแซคคาไรด์ด้วยวิธีฟีนอลซัลฟิวริก ควรใช้อัตราส่วนของตัวอย่างในปริมาณที่มาก เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อน

2. การวิเคราะห์หาปริมาณของกรดไฮยาลูโรนิค ด้วยวิธีคาร์บาโซล เป็นเพียงวิธีการตรวจสอบหากรดไฮยาลูโรนิคโดยเบื้องต้นในรูปของกรดยูโรนิค หากต้องการทราบปริมาณกรดไฮยาลูโรนิคบริสุทธิ์ต้องนำสารสกัดสาหร่ายที่ได้ไปแยกให้บริสุทธิ์ก่อนหรือเปลี่ยนวิธีการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กิตติมาภรณ์ ชุมพงศ์ และภาณุพงษ์ ใจวุฒิ. 2557. “การพัฒนาสารสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่ายวากาเมะเพื่อเป็นสารให้ความชุ่มชื้นผิว.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง, สำนักวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.

ครรชิด เงินคำคง นิธิวัฒ จำรูญรัตน์ สิทธิศักดิ์ แก้วหนัก กฤษณฉัตร เมืองใจ และนิตยา ตันติวา. 2559. “ประสิทธิภาพของสาหร่าย *Chlorella* sp. TISTR 8432 ในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ.” วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา. 1 (1) : 51-58.

จันทนา ไพรบูรณ์ และอนงค์ จีราภัทร์. 2555. “ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากสาหร่ายทะเลบางชนิดในประเทศไทย” โครงการทุนอุดหนุนวิจัย มก. งบประมาณปี 2555, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จิรพันธ์ เปรมสุริยา. 2555. “การคัดเลือกและจัดจำแนกสายพันธุ์จุลสาหร่ายน้ำจืดและการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตโพลีแซคคาไรด์.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาจุล ชีววิทยา คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นุชนาถ แช่มช้อย. 2557. “สาหร่ายขนาดเล็กการเพาะเลี้ยงและการนำมาใช้ประโยชน์.” วารสาร มฉก. วิชาการ คณะสาธารณสุขศาสตร์และสิ่งแวดล้อมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ. 17 (34) : 169-183.

ประยูร ดำรงรักษ์ ฉันทนา รุ่งพิทักษ์ไชย มูฮำหมัดตายุดิน บะฮะคีรี ซูไบดี โตะโมะ พาตีเมาะ อาแยกาจิ นัสรีน มะแน และดอเลาะ สาและ. 2555. “สาหร่ายน้ำจืดในหุบเขาลำพญา.” ศูนย์วิจัยความหลากหลายทางชีวภาพ เฉลิมพระเกียรติ 72 พรรษา. สงขลา : มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.

ปริญญา มูลสิน และอมรรัตน์ วงษ์กลม. 2556. “การศึกษาผลของการใช้สารสกัดจากสาหร่ายเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง.” สาขาวิชาชีววิทยา และสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี.

พิมพ์พร ศรีสันติแสง. 2556. “การสกัดกรดไฮยาลูโรนิกจากหงอนไก่ ด้วยสารสกัดหยาบของเอนไซม์จากไส้ และตับอ่อนของไก่.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรพิมล เพ็ชรโยธิน จันทนา ไพรบูรณ์ และอนงค์ จีรภัทร์. 2558. “ฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ก่อให้เกิด สิว *Propionibacterium acnes* จากสารสกัดของสาหร่ายทะเล.” วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. 38 (3) . 273-282.

มยุรมาศ แสงเงิน. 2551. “การพัฒนาสารสกัดจากสาหร่ายเกลียวทอง สาหร่ายไก และเทาน้ำ เพื่อใช้เป็นสารเพิ่มความชุ่มชื้นแก่ผิว.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง, สำนักวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลัดดา วงศ์รัตน์. 2542. “แพลงก์ตอนพืช.” คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 852 หน้า

วัชระ เวียงแก้ว. 2552. “การสกัดไขมันจากจุลสาหร่าย.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

วันเพ็ญ ภูติจันทร์. 2549. “วิทยาศาสตร์สาหร่าย (Phycology).” กรุงเทพ : โอเดียนสโตร์. หน้า 517.

วสันต์ สุมินทิลี่ ปนิดา บรรจงสินศิริ จันทนา ไพรบูรณ์ และวรรณวิมล คล้ายประดิษฐ์. 2557. “กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบจากสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lintillifera*) สาหร่ายทุ่น (*Sargassum oligocystum*) และสาหร่ายเขากวาง (*Gracilaria changii*).” วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม. 9 (1) : 63-75.

Ahmed, O. M. and Ahmed, R. R. 2014. “ Anti- Proliferative and apoptotic ulvan polysaccharides against different types of carcinoma cell *In vitro* and *In vivo*.” Journal of Cancer Science and Therapy. 6 (6) : 202-208.

A. O. A. C. 2005. “ Official method of analytical chemists,” 18th ed. Maryland : Association of Official Analytical Chemists.

Bertocchi, C., Navarini, L. and Cesasro, A. 1990. “Polysaccharides from cyanobacteria.” Carbohydrate Polymers. 12 (2) : 127-153.

Buono, S., Langellotti, A.L., Martello, A., Bimonte, M., Tito, A., Carola, A., Apone, F., Colucci, G. and Fogliano, V. 2012. “Biological activities of dermatological interest by the water extract of the microalga *Botryococcus braunii*.” Archives of Dermatological Research. 304 (9) : 755-764.

Butkhup, L. 2012. “ Dietary polyphenols and their biological effects.” Journal Science Technology MSU. 31 (4) : 444-455.

Chen, X., Smith, G.D. and Waring, P. 2003. “ Human cancer cell (*Jurkat*) killing by cyanobacterial metabolite calothrixin A.” Journal of Applied Phycology. 15 (4) : 269-277.

Collet, P., Helias, A., Lardon, L., Ras, M., Goy, R.A. and Steyer, J.P. 2011. “Life-cycle assessment of microalgae culture coupled to biogas production.” Bioresource Technology. 102 (1) : 207-214.

Delsin, S.D., Mercurio, D.G., Fossa, M.M. and Campos, M. 2015. “Clinical efficacy of dermocosmetic formulation containing *Spirulina* exatract on young and mature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

skin: Effects on the skin hydrolipidic barrier and structural properties." Clinical Pharmacology and Biopharmaceutics. 4 (4) : 144-148.

El-Sheekh, M.M., Khairy, H.M. and El-Shenody, R. 2012. "Algal production of extra and intra-cellular polysaccharides as an adaptive response to the toxin crude extract of *Microcystis aeruginosa*." Iranian Journal of Environmental Health Sciences and Engineering. 9 : 10-16.

Gin-nae, A., Kil-Nam, K., Seon-Heui, C., Choon-Bok, S., Jehee, L., Moon-Soo, H., In-Kyu, Y., Nam-Ho, L., Young-Heun, J., Jin-Soo, K., Min-Soo, H. and You-Jin, J. 2007. "Antioxidant activities of phlorotannins purified from *Ecklonia cava* on free radical scavenging using ESR and H_2O_2- mediated DNA damage." European Food Research and Technology. 226 (2) : 71–79.

Gouveia, L. and Empis, J. 2003. "Relative stabilities of microalgal carotenoids in microalgal extracts, biomass and fish feed : effect of storage conditions." Innovative Food Science and Emerging Technology. 4 (2) : 227 –233.

Harris, E.H. 2001. "*Chlamydomonas* as a model organism." Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. 52 : 363-406.

Jagannath, S. and Ramachandran, K.B. 2010. "Influence of competing metabolic process on the molecular weight of hyaluronic acid synthesized by *Streptococcus zooepidemicus*." Biochemical Engineering Journal. 48 (2) : 148-158.

Junying, Z., Junfeng, R. and Baoning, Z. 2013. "Factors in mass cultivation of microalgae for biodiesel." Chinese Journal of Catalysis. 34 (1) : 80–100.

Kent, M., Welladsen, H.M., Mangott, A. and Li, Y. 2015. "Nutritional of australian microalgae as potential human health supplement." Plos One. 10 (2) : 1-14.

Kuhl A. and Lorenzen H. 1963. "Handling and culturing of *Chlorella*." Methods in Cell Biology. 1 (2) : 159-187.

Kumar, S.R., Ganesan, R. and Rao, S.P.V. 2008. "Antioxidant potential of solvent extracts of *Kappaphycus alvarezii* (Dory) Dory." Food Chemistry. 107 : 289-295.

Leelapornpisid, P. 2014. "A novel moisturizer extracted from freshwater macroalga *Rhizoclonium hieroglyphicum* for skin care cosmetic." Chiang Mai Journal of Science. 41 (5.2) : 1195-1207.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Liu, J., Lui, Y., Li, J., Du, G. and Chen, J. 2011. "Microbial production of hyaluronic acid : current state, challenges, and perspectives." Microbial Cell Factories. 10 : 90-99.

Liu, J., Pan, Y., Yao, C., Wang, H., Cao, X., and Xue, S. 2015. "Determination of ash content and concomitant acquisition of cell composition in microalgal via thermogravimetric (TG) analysis." Algae Research. 12 : 149-155.

Meharban, S. 2005. "Essential fatty acids, DHA and human brain." Indian Journal of Pediatrics. 72 (3) : 239-242.

Morton, D.W. and Agatonovic-Kustrin, S. 2013. "Cosmeceuticals derived from bioactive substances found in marine algae." Oceanography. 1 : 106-116.

Mungmai, L., Jiranusornkul, S., Peerapornpisal, Y., Sirithunyalug, B. and Leelapornpisid, P. 2014. "Extraction, characterization and biological activities of extracts from freshwater macroalga [*Rhizoclonium hieroglyphicum* (C.Agardh) Kützing] cultivated in northern Thailand." Chiang Mai Journal of Science. 41 (1) : 14-26.

Nelson, J.A. 2015. "Postharvest degradation of microalgae: Effect of temperature and water activity." Master of Science, Utah State University.

Noue, J. D. L. and Pauw, D. N. 1988. "The potential of microalgal biotechnology : a review of production and uses of microalgae." Biotechnology Advances. 6 (4) : 725-770.

Omidvar, F., Mojtaba, F. S. and Nasrollah, M. S. 2013. "Biomass and growth of green algae *Chlorococcum* sp. using organic nanures and soil extract." Journal of Fisheries Science and Technology. 1 (1) : 39-51.

Ortiz-Tena, J.G., Rühmann, B., Schieder, D. and Sieber, V. 2016. "Revealing the diversity of algal monosaccharides: Fast carbohydrate fingerprinting of microalgae using crude biomass and showcasing sugar distribution in *Chlorella vulgaris* by biomass fractionation." Algae Research. 17 : 227-235.

Ota, M., Watanabe, H., Kato, Y., Watanabe, M., Sato, Y., Smith, R. L. and Inomato, H. 2009. "Carotenoid production from *Chlorococcum littorale* in photoautotrophic culture with downstream supercritical fluid processing." Journal of Separation Science. 32 (13) : 2327-2335.

Parker, B. C. 1994. "Novel hyaluronic acid produced from algae." Journal of Applied Phycology. 6 (10) : 91-98.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pushkar, K. 2005. "Small biomolecules." Compettition Science Vision. 8 (93) : 1231-1232.

Patel, A., Gami, B., Patel, P. and Patel, B. 2017. "Microalgae: antiquity to era of integrated technology." Renewable and Sustainable Energy Review. 71 : 535-547.

Qi, H. and Sun, Y. 2015. "Antioxidant activity of high sulfate content derivation of ulvan in hyperlipidemic rats." International Journal of Biological Macromolecules. 76 : 326-329.

Rochaix, J.D. 1995. "*Chlamydomonas reinhardtii* as the photosynthetic yeast." Annual Review Genetic. 29 : 209-300.

Sathish, A., Smith, B. R. and Sims, R. C. 2014. "Effect of moisture on *in situ* transesterification of microalgae for biodiesel production." Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 89 : 137-142.

Schaeffer, D. J. and Krylov, V. S. 2000. "Anti – HIV activity of extracts and compounds from algae and cyanobacteria." Ecotoxicology Environmental Safety. 45 (3) : 208 –227.

Schiller, S. 1996. "Connective and supporting tissues: mucopolysaccharides of connective tissue." Annual Review of Physiology. 28 : 137-158.

Subagyano, D. J. N., Marshall, M., Jeckson, W. R. and Chaffee, A. L. 2015. "Pressurized thermal and hydrothermal decomposition of algae, wood chip residue, and grape marc: a comparative study." Biomass and Bioenergy. 76 : 141-157.

Sze, J. H., Brownlie, J. C. and Love, C. A. 2016. "Biotechnological production of hyaluronic acid." 3 Biotechnology. 6 (1) : 67-75.

Tanaka, K., Koga, T., Konishi, F, Nakamura, M., Mitsuyama, M., Himeno, K., and Nomoto, K., 1986. "Augmentation of host defense by a unicellular green alga, *Chlorella vulgaris* to *Escherichia coli* infection." Infection and Immunity. 53 (2) : 267–271.

Ugwu, C.U., Aoyagi, H. and Uchiyama, H. 2008. "Photobioreactors for mass cultivation of algae." Bioresource Technology. 99 (10) : 4021-4028.

Wang, T., Jonsdottir, R., Liu, H., Gu, L., Kristinsson, H.G., Raqhavan, S. and Olafsdottir, G. 2012. "Antioxidant capacities of phlorotannins extracted from the brown algae *Fucus vesiculosus*." Journal of Agricultural and Food Chemistry. 60 (23) : 5874-5883

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wu, M., Wu, Y., Qu, M., Li, W. and Yan, X. 2013. "Evaluation of antioxidant activities of water-soluble polysaccharides from brown alga *Hizikia fusiformis*." International Journal of Biological Macromolecules. 56 : 28-33.

รูปตัวอย่าง *Chlorella* sp. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://dogaltedavi.net/f388/chlorella_forte_chlorella_vulgaris_chlorella_pyrenoidoa_tatli_su_yosunu-13664 html. สืบค้นวันที่ 25 พฤษภาคม 2560.

รูปตัวอย่าง *Chlamydomonas* sp. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://cfb.unh.edu/phycokey/chices/Chlorophyceae/unicells/flagellated/CHLAMYDOMONAS/Chlamydomonas_Imag-e_page.html. สืบค้นวันที่ 25 พฤษภาคม 2560.

รูปตัวอย่าง *Scenedesmus* sp. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.microscopy-uk.org.uk/mag/indexmag.html. สืบค้นวันที่ 05 พฤษภาคม 2560.

รูปตัวอย่าง *Chlorococcum* sp. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://materiais.dbio.uevora.pt/Micro/slides/13/51.html. สืบค้นวันที่ 25 พฤษภาคม 2560.

โครงสร้างของกรดไฮยาลูโรนิก. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://biochimej.univ-angersfrPage2COURS7RelStructFonction/ 6Proteases/ 1Lysozyme/ 3Polysaccharide.htm. สืบค้นวันที่ 09 พฤษภาคม 2560.

ลักษณะของฮีมาไซโตมิเตอร์ และลักษณะช่องบนฮีมาไซโตมิเตอร์ [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.vetlab.com/Brightline%20Hemacytometer%20(Neubauer).htm. สืบค้นวันที่ 19 พฤษภาคม 2560.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
อาหารสำหรับเพาะเลี้ยงสาหร่าย

สูตรอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียว ควรใช้อาหารสูตร อาหารสูตร N-8 โดยสูตรอาหารสามารถเตรียมได้จากองค์ประกอบของสารเคมีต่างๆ ดังต่อไปนี้

อาหารสูตร N-8

$Na_2HPO_4 \cdot 2H_2O$	260.0	มิลลิกรัม
KH_2PO_4	740.0	มิลลิกรัม
$CaCl_2$	10.0	มิลลิกรัม
Fe EDTA	10.0	มิลลิกรัม
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	50.0	มิลลิกรัม
KNO_3	1.0	กรัม
น้ำกลั่น	1.0	ลิตร
**กรณีเตรียมอาหารแข็งเติมวุ้น (Agar)	15.0	กรัม

**Trace element mixture ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร สำหรับอาหารสูตร N-8 เตรียมได้จากองค์ประกอบสารเคมี ดังนี้

$Al(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	3.58	กรัม
$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	12.98	กรัม
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	1.83	กรัม
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	3.20	กรัม
ใช้น้ำกลั่นสำหรับปรับปริมาตร	1.0	ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
วิธีการการวิเคราะห์และการเตรียมสารละลาย

ข-1 การคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายที่การผลิตพอลิแซคคาไรด์สูงสุด

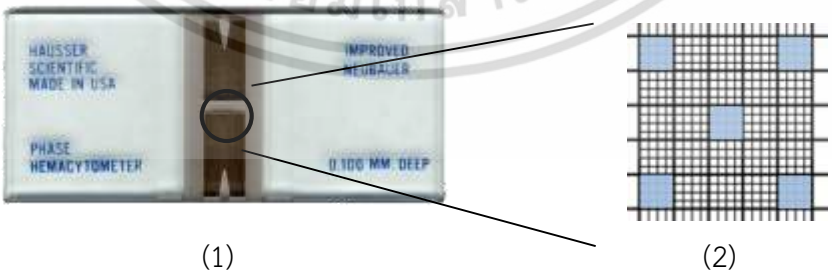
ข-1.1 การวัดการเจริญของสาหร่าย

(1) การวัดค่าการดูดกลืนแสง

1. ดูดเซลล์สาหร่ายแขวนลอยตัวอย่างที่ต้องการทดสอบจำนวน 200 ไมโครลิตร หยดลงบนหลุมไมโครเพลท (Microplate) จำนวน 3 ซ้ำ โดยใช้อาหารเปล่าสูตร N-8 เป็น Blank จำนวน 200 ไมโครลิตร หยดลงบนหลุมไมโครเพลท จำนวน 3 ซ้ำเช่นกัน
2. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร ด้วยเครื่องไมโครเพลท รีดเดอร์
3. บันทึกผลค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง และสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง และระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง

(2) วิธีการนับจำนวนเซลล์ด้วยฮีมาไซโตมิเตอร์

1. ดูดเซลล์สาหร่ายแขวนลอยที่ต้องการตรวจนับเซลล์จำนวน 10 ไมโครลิตร ด้วยไมโครปิเปตขนาด 200 ไมโครลิตร หยดลงบนช่องฮีมาไซโตมิเตอร์ทั้งสองด้านที่ปิดด้วยกระจกปิดสไลด์เฉพาะของฮีมาไซโตมิเตอร์
2. วางสไลด์ฮีมาไซโตมิเตอร์ทิ้งไว้ 1 นาที เพื่อให้เซลล์สาหร่ายตกลงสู่พื้นสไลด์
3. ตรวจนับจำนวนเซลล์สาหร่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 40 เท่า โดยนับจำนวนเซลล์สาหร่ายใน 5 ช่องที่ประกอบด้วย 16 ช่องเล็กจาก 25 ช่องใหญ่ ดังรูปภาคผนวกที่
4. บันทึกผลการตรวจนับจำนวนเซลล์สาหร่าย คำนวณและนำไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเซลล์และระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง



(1) (2)

รูปภาคผนวกที่ ข-1 (1) ลักษณะของฮีมาไซโตมิเตอร์ และ (2) ลักษณะช่องบนฮีมาไซโตมิเตอร์
ที่มา : http://www.vetlab.com/Brightline%20Hemacytometer%20(Neubauer).htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรการคำนวณการเจริญจำเพาะ

$$\mu_{max} = \frac{\ln (N/N_0)}{t}$$

โดยที่ μ = อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (ต่อวัน)

N = ตัวอย่างจำนวนเซลล์สาหร่ายที่เก็บเกี่ยววันสุดท้าย

N_0 = จำนวนเซลล์สาหร่ายเริ่มต้น

t = เวลา (วัน)

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\mu_{max} = \frac{\ln (N/N_0)}{t}$$

$$= \frac{\ln (49 \text{ เซลล์ต่อมิลลิลิตร} / 4 \text{ เซลล์ต่อมิลลิลิตร})}{8 \text{ วัน}} = 0.3132$$

ดังนั้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ เท่ากับ 0.3132 ต่อวัน

(3) การหาน้ำหนักแห้ง

1. นำตัวอย่างสาหร่ายแขวนลอยจำนวน 1 มิลลิลิตร ไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 9,000 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 10 นาที
2. เทส่วนใสทิ้ง และล้างเซลล์ด้วยน้ำกลั่น ก่อนนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยวิธีเดียวกันอีกครั้ง
3. เทส่วนใสทิ้ง และนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นภายในโถดูดความชื้น เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง
4. ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งสี่ตำแหน่ง และคำนวณหาค่าน้ำหนักแห้ง ดังสูตรต่อไปนี้

$$\text{น้ำหนักแห้ง (กรัมต่อมิลลิลิตร)} = \frac{\text{น้ำหนักหลอดหลังอบ (กรัม)} - \text{น้ำหนักหลอดก่อนอบ (กรัม)}}{\text{ปริมาตรตัวอย่างสาหร่ายแขวนลอย (มิลลิลิตร)}}$$

5. บันทึกผลน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง แล้วจึงนำไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งและระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง

ข-1.2 การวิเคราะห์ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ด้วยวิธี Phenol-sulfuric (จิรพันธ์, 2555)

การเตรียมสารเคมี

1. ฟีนอล (Phenol) ความเข้มข้นร้อยละ 5
2. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Sulfuric acid, H_3SO_4: analytical grade) ความเข้มข้นร้อยละ 98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สารละลายมาตราฐานกลูโคส (Glucose standard) เจือจางให้มีความเข้มข้น 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

4. ส่วนใสของตัวอย่างสาหร่าย โดยเตรียมได้จากการปั่นเหวี่ยงสารแขวนลอยตัวอย่างสาหร่าย 1 มิลลิลิตร ที่ความเร็ว 9,000 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 10 นาที และล้างเซลล์ด้วยน้ำกลั่น ก่อนนำไปปั่นเหวี่ยงอีกครั้ง แล้วทำส่วนใสที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงครั้งสุดท้ายนี้ไปทดสอบต่อไป

การคำนวณ

ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) = $\frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสงที่ 490 นาโนเมตร + จุดตัด}}{\text{ค่าความชัน}}$

ตัวอย่างการคำนวณ

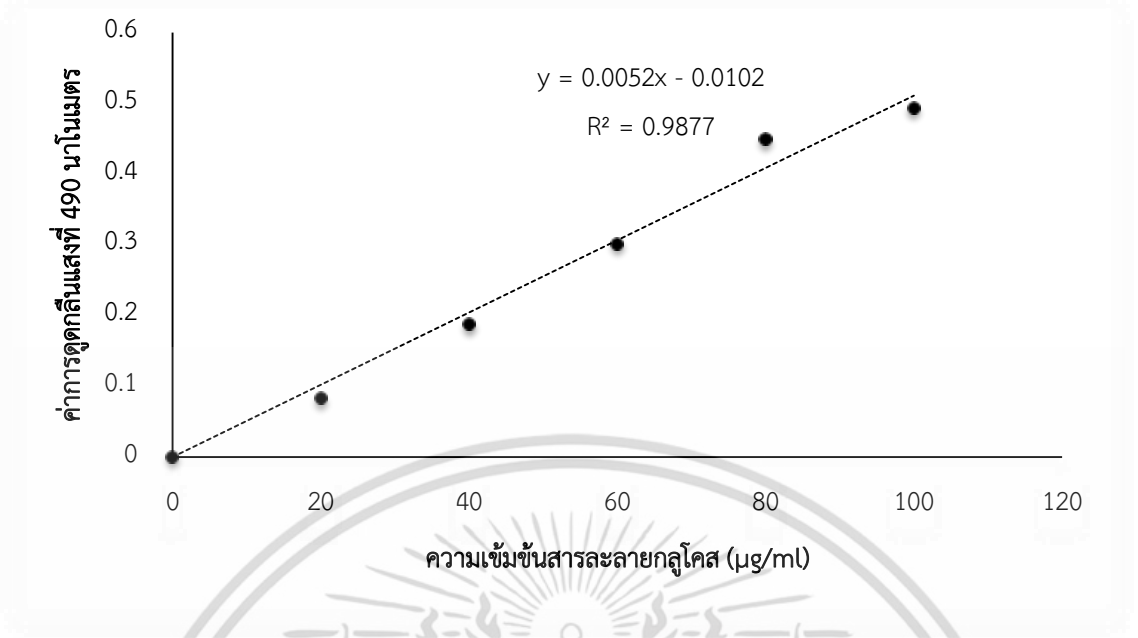
ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) = $\frac{0.420 + 0.0102}{0.0052} = 82.7308$

ดังนั้น ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ เท่ากับ 82.7308 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

ตารางที่ ข-1 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 490 นาโมเมตร ของสารละลายกลูโคสมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นสารละลายกลูโคสมาตรฐาน (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 490 นาโนเมตร
0	0
20	0.083
40	0.188
60	0.301
80	0.449
100	0.493

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-2 กราฟมาตรฐานสารละลายกลูโคส (Glucose standard curve)

ข-2 การหาน้ำหนักแห้งของพอลิแซคคาไรด์ (จันทนาและอนงค์, 2555)

นำตัวอย่างที่ได้จากการสกัดมาทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นภายในโถดูดความชื้น ก่อนนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าน้ำหนักแห้งของพอลิแซคคาไรด์

$$\text{ร้อยละโดยมวลของน้ำหนักแห้ง (\%w/w)} = \frac{\text{น้ำหนักของสารสกัดหยาบ}}{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่างสาหร่ายที่นำมาสกัด}} \times 100$$

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{ร้อยละโดยมวลของน้ำหนักแห้ง (\%w/w)} = \frac{0.2918 \text{ กรัม}}{1.0000 \text{ กรัม}} \times 100 = 29.18$$

ดังนั้น ร้อยละโดยมวลของน้ำหนักแห้งพอลิแซคคาไรด์ เท่ากับ 29.18

ข-3 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไฮยาลูโรนิคเบื้องต้น ด้วยวิธีคาร์บาโซล (พิมพ์พร, 2556)

วิเคราะห์ในรูปของกรดยูโรนิค โดยใช้วิธีคาร์บาโซล

การเตรียมสารเคมี

1. สารละลายโซเดียม เตตระบอเรต ดีคาร์บอกซิเรต ความเข้มข้น 0.025 โมลาร์ ในกรดซัลฟูริกเข้มข้น โดยเตรียมได้จากชั่งโซเดียม เตตระบอเรต ดีคาร์บอกซิเรต 0.5030 กรัม ละลายในกรดซัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟูริกเข้มข้นและทิ้งไว้ข้ามคืนเพื่อต้องการให้เกิดการละลายอย่างสมบูรณ์ จากนั้นปรับปริมาตรกรดซัลฟูริกเข้มข้นด้วยขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

2. สารละลายคาร์บาโซล ความเข้มข้นร้อยละ 0.125 โดยเตรียมได้จากชั่งคาร์บาโซล 0.125 กรัม ละลายในเอทานอลบริสุทธิ์ และปรับปริมาตรด้วยขวดปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร

3. สารละลายมาตรฐานดี กลูคูโรโนแลคโทน ความเข้มข้น 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณกรดไฮยาลูโรนิค (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)} = \frac{(\text{ค่าการดูดกลืนแสง} \times \text{ค่าการเจือจาง}) + \text{จุดตัด}}{\text{ค่าความชัน}}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{ปริมาณกรดไฮยาลูโรนิค (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)} = \frac{(0.077 \times 100) + 0.013}{0.0088} = 876.4773$$

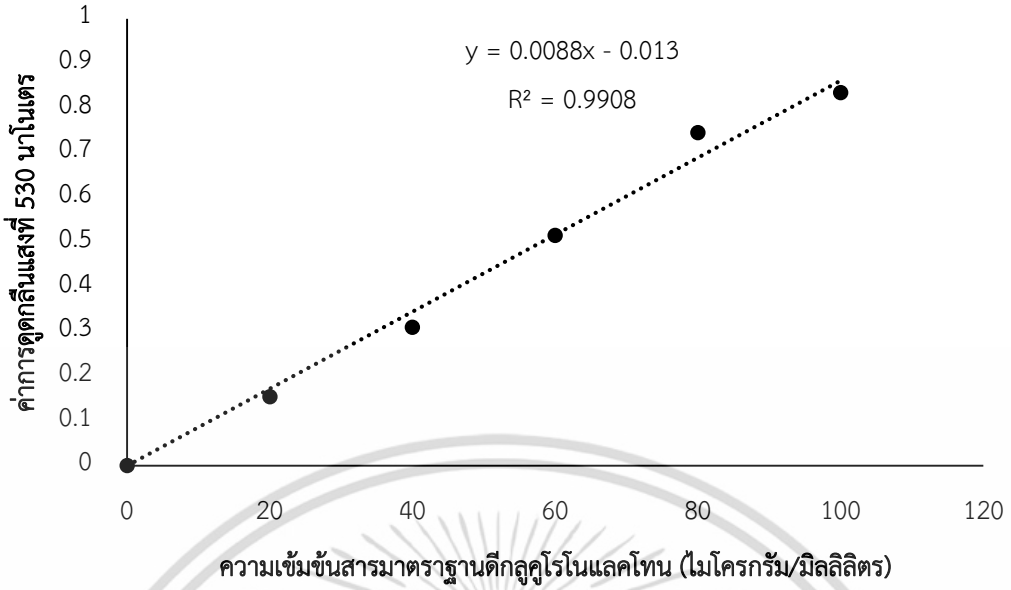
ดังนั้น ปริมาณกรดไฮยาลูโรนิค เท่ากับ 876.4773 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

หรือ 0.88 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม

ตารางที่ ข-2 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 530 นาโนเมตร ของสารละลายมาตรฐาน ดี กลูคูโรโนแลคโทน ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นสารละลาย ดี กลูคูโรโนแลคโทน (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)	**ค่าการดูดกลืนแสงที่ 530 นาโนเมตร**
0	0
20	0.154
40	0.310
60	0.515
80	0.745
100	0.835

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-3 กราฟมาตรฐานสารละลายดีกลูคูโรโนแลคโทน (D-Glucuronolactone standard curve)

ข-4 การวิเคราะห์ทดสอบคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH (Kumar และคณะ, 2008)

สารเคมี

1. สารละลายสารละลายดีพีพีเอช (DPPH reagent, 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) ความเข้มข้น 0.35 มิลลิโมลาร์ เตรียมได้จากซั่งดีพีพีเอช 0.0138 กรัม และละลายในเอทานอล จากนั้นปรับปริมาตรด้วยขวดปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร

วิธีการ

1. นำสารสกัดตัวอย่างสาหร่ายที่ความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมด้วยสารละลายดีพีพีเอชปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมสาร จากนั้นทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร คำนวณหาร้อยละประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ ดังสมการ

$$\text{ร้อยละประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ} = \left[\frac{A_0 - (A - A_b)}{A_0}\right] \times 100$$

โดยที่ A คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดที่ผสม DPPH

A_0 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH ที่ปราศจากตัวอย่างสารสกัด

A_b คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดที่ปราศจาก DPPH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

ร้อยละประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ = $\left[\frac{1.837 - (3.877 - 2.784)}{1.837}\right]$ x 100 = 40.50

ดังนั้น ร้อยละประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ เท่ากับ 40.50

ข-5 ศึกษาองค์ประกอบสาหร่ายขนาดเล็กที่มีพอลิแซคคาไรด์สูงสุด 3 สายพันธุ์

ข-5.1 การวิเคราะห์ร้อยละความชื้นทั้งหมด (A.O.A.C., 2005)

การคำนวณ

ร้อยละความชื้น (น้ำหนักแห้ง) = $\frac{(W_1 - W_2) \text{ กรัม}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างสาหร่าย (กรัม)}}$ x 100

เมื่อ W_1 แทน น้ำหนักภาชนะอลูมิเนียมพร้อมฝาปิดและตัวอย่างสาหร่ายก่อนอบ

W_2 แทน น้ำหนักภาชนะอลูมิเนียมพร้อมฝาปิดและตัวอย่างสาหร่ายหลังอบ

ตัวอย่างการคำนวณ

ร้อยละความชื้น (น้ำหนักแห้ง) = $\frac{0.0604 \text{ กรัม}}{1.0006 \text{ กรัม}}$ x 100 = 6.0

ดังนั้น ปริมาณความชื้นทั้งหมด เท่ากับ 6.0

ข-5.2 การวิเคราะห์ร้อยละปริมาณเถ้าทั้งหมด (A.O.A.C., 2005)

การคำนวณ

ร้อยละปริมาณเถ้าทั้งหมด = $\frac{\text{น้ำหนักถ้วยกระเบื้องเคลือบและตัวอย่างหลังอบ – ก่อนอบ(กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$ x100

ตัวอย่างการคำนวณ

ร้อยละปริมาณเถ้าทั้งหมด = $\frac{0.0768 \text{ กรัม}}{0.6995 \text{ กรัม}}$ x 100 = 10.9793

ดังนั้น ผลได้ร้อยละปริมาณเถ้าทั้งหมด เท่ากับ 10.9793

ข-5.3 การวิเคราะห์ร้อยละปริมาณโปรตีนทั้งหมด ด้วยวิธี เจลดาห์ล (A.O.A.C., 2005)

การเตรียมสารเคมี

1. กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ความเข้มข้นร้อยละ 98

2. คะตะลิสต์ (Catalyst mixture) เตรียมได้จากคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) 7 กรัม และโพแทสเซียม ซัลเฟต (KSO_4) 100 กรัม ผสมเข้ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กรดบอริค (H_3BO_3) ความเข้มข้นร้อยละ 4 เตรียมได้จาก ต้มน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วจึงใส่ผงกรดบอริคจำนวน 4 กรัม ต้มจนละลายหมด และทิ้งไว้ให้เย็นก่อนเติมน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร

4. สารละลายอินดิเคเตอร์ เตรียมได้จากการผสมโบรโมครีซอลกรีนความเข้มข้นร้อยละ 0.1 (Bromocresol green) ในแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 จำนวน 10 มิลลิลิตร กับเมทิลเรดความเข้มข้นร้อยละ 0.1 (Methyl red) ในแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 จำนวน 2 มิลลิลิตร

5. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล

การคำนวณ

ร้อยละไนโตรเจน =

$$\frac{(\text{ปริมาตร } H_2SO_4\text{ที่ใช้ไทเทรต-ปริมาตร } H_2SO_4\text{ที่ใช้ไทเทรต Blank}) \times 0.1 \times 0.014}{\text{น้ำหนักตัวอย่างสาหร่าย}} \times 100$$

ร้อยละโปรตีนทั้งหมด = ร้อยละไนโตรเจน x Conversion factor

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{ร้อยละไนโตรเจน} = \frac{(13.8 - 0.3)\text{ มิลลิลิตร} \times 0.1 \times 0.014}{1.0054\text{ กรัม}} \times 100 = 1.8798$$

ดังนั้น ผลได้ร้อยละไนโตรเจน เท่ากับ 1.8798

ร้อยละโปรตีนทั้งหมด = 1.8798 x 6.25 = 11.7

ดังนั้น ผลได้ร้อยละโปรตีนทั้งหมด เท่ากับ 11.7

ข-5.4 การวิเคราะห์ร้อยละไขมันทั้งหมด (A.O.A.C., 2005)

การคำนวณ

$$\text{ร้อยละไขมันทั้งหมด} = \frac{\text{น้ำหนักฟลาสก์ก้นกลมหลังอบ – ก่อนอบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างสาหร่าย (กรัม)}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

ร้อยละไขมันทั้งหมด = $\frac{0.0096 \text{ กรัม}}{1.0056 \text{ กรัม}} \times 100 = 0.9547$

ดังนั้น ผลได้ร้อยละไขมันทั้งหมด เท่ากับ 0.95

ข-5.5 การวิเคราะห์ร้อยละคาร์โบไฮเดรต (A.O.A.C., 2005)

การคำนวณ

ร้อยละคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด = 100 – (ร้อยละโปรตีน+ร้อยละไขมัน + ร้อยละความชื้น + ร้อยละเถ้า)

ตัวอย่างการคำนวณ

ร้อยละคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด = 100 – (11.7+0.95+6.0+10.98) = 70.4

ดังนั้น ร้อยละคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด เท่ากับ 70.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ตารางข้อมูลผลการวิจัย

ตารางที่ ค-1 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร ของสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็ก 15 สายพันธุ์ ในระดับฟลาสก์

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย	
Chlamydomonas sp. B1-59	0	1	0.021	0.017	0.022	0.020	0.021±0.00
		2	0.021	0.022	0.021	0.021	
		3	0.018	0.021	0.022	0.020	
	2	1	0.081	0.08	0.081	0.081	0.084±0.00
		2	0.084	0.084	0.085	0.084	
		3	0.086	0.088	0.088	0.087	
	4	1	0.152	0.151	0.151	0.151	0.155±0.00
		2	0.154	0.152	0.152	0.153	
		3	0.159	0.161	0.159	0.160	
	6	1	0.218	0.264	0.265	0.218	0.232±0.02
		2	0.221	0.222	0.222	0.222	
		3	0.224	0.225	0.224	0.224	
	8	1	0.298	0.299	0.308	0.302	0.307±0.01
		2	0.309	0.319	0.309	0.312	
		3	0.309	0.308	0.308	0.308	
	10	1	0.445	0.445	0.444	0.445	0.446±0.00
		2	0.446	0.447	0.447	0.447	
		3	0.447	0.448	0.447	0.447	
	12	1	0.597	0.598	0.598	0.598	0.600±0.00
		2	0.602	0.601	0.602	0.602	
		3	0.601	0.601	0.602	0.601	
	14	1	0.621	0.622	0.622	0.622	0.625±0.00
		2	0.627	0.627	0.628	0.627	
		3	0.628	0.627	0.627	0.627	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย	
Chlorella sp. B2-59	0	1	0.013	0.015	0.015	0.014	0.017±0.00
		2	0.015	0.016	0.015	0.015	
		3	0.017	0.021	0.022	0.020	
	2	1	0.127	0.119	0.129	0.125	0.140±0.02
		2	0.136	0.143	0.135	0.138	
		3	0.158	0.157	0.153	0.156	
	4	1	0.244	0.248	0.252	0.248	0.251±0.00
		2	0.249	0.250	0.256	0.252	
		3	0.251	0.251	0.256	0.253	
	6	1	0.347	0.374	0.364	0.362	0.347±0.01
		2	0.342	0.352	0.342	0.345	
		3	0.336	0.335	0.335	0.335	
	8	1	0.405	0.380	0.476	0.420	0.413±0.04
		2	0.412	0.412	0.528	0.451	
		3	0.369	0.367	0.367	0.368	
	10	1	0.549	0.586	0.549	0.561	0.580±0.06
		2	0.534	0.532	0.528	0.531	
		3	0.630	0.654	0.661	0.648	
	12	1	0.662	0.659	0.661	0.661	0.659±0.00
		2	0.657	0.661	0.661	0.660	
		3	0.657	0.657	0.657	0.657	
	14	1	0.679	0.679	0.679	0.679	0.677±0.00
		2	0.674	0.678	0.678	0.677	
		3	0.674	0.678	0.674	0.675	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย	
Chlorella sp. A	0	1	0.019	0.015	0.015	0.016	0.016±0.00
		2	0.015	0.016	0.015	0.015	
		3	0.017	0.018	0.015	0.017	
	2	1	0.062	0.063	0.062	0.062	0.062±0.00
		2	0.061	0.062	0.062	0.062	
		3	0.061	0.061	0.062	0.061	
	4	1	0.108	0.107	0.108	0.108	0.109±0.00
		2	0.109	0.108	0.109	0.109	
		3	0.109	0.110	0.110	0.110	
	6	1	0.154	0.152	0.152	0.153	0.152±0.00
		2	0.151	0.150	0.151	0.151	
		3	0.154	0.155	0.152	0.154	
	8	1	0.260	0.260	0.261	0.260	0.260±0.00
		2	0.260	0.261	0.260	0.260	
		3	0.259	0.260	0.259	0.259	
	10	1	0.365	0.366	0.368	0.366	0.368±0.00
		2	0.369	0.368	0.368	0.368	
		3	0.369	0.369	0.370	0.369	
	12	1	0.465	0.466	0.464	0.465	0.465±0.00
		2	0.466	0.464	0.462	0.464	
		3	0.465	0.467	0.465	0.466	
	14	1	0.552	0.546	0.548	0.549	0.549±0.00
		2	0.546	0.552	0.548	0.549	
		3	0.547	0.552	0.552	0.550	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย	
Chlorella sp. B	0	1	0.006	0.008	0.006	0.007	0.007±0.00
		2	0.007	0.007	0.007	0.007	
		3	0.007	0.007	0.009	0.008	
	2	1	0.062	0.054	0.041	0.052	0.051±0.00
		2	0.053	0.043	0.054	0.050	
		3	0.043	0.055	0.054	0.051	
	4	1	0.097	0.097	0.098	0.097	0.097±0.00
		2	0.096	0.095	0.095	0.095	
		3	0.097	0.098	0.096	0.097	
	6	1	0.245	0.245	0.243	0.244	0.244±0.00
		2	0.244	0.243	0.243	0.243	
		3	0.245	0.244	0.244	0.244	
	8	1	0.399	0.398	0.399	0.399	0.398±0.00
		2	0.397	0.398	0.398	0.398	
		3	0.397	0.398	0.397	0.397	
	10	1	0.579	0.582	0.579	0.580	0.579±0.00
		2	0.578	0.580	0.580	0.579	
		3	0.578	0.578	0.578	0.578	
	12	1	0.688	0.687	0.688	0.688	0.688±0.00
		2	0.688	0.689	0.690	0.689	
		3	0.688	0.688	0.689	0.688	
	14	1	0.727	0.729	0.727	0.728	0.728±0.00
		2	0.727	0.728	0.727	0.727	
		3	0.730	0.728	0.730	0.728	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย	
Chlorella sp. G	0	1	0.027	0.031	0.034	0.031	0.031±0.00
		2	0.032	0.031	0.031	0.031	
		3	0.030	0.031	0.033	0.031	
	2	1	0.054	0.065	0.051	0.057	0.056±0.00
		2	0.045	0.057	0.057	0.053	
		3	0.064	0.061	0.054	0.060	
	4	1	0.160	0.157	0.160	0.159	0.158±0.00
		2	0.157	0.158	0.158	0.158	
		3	0.158	0.157	0.157	0.157	
	6	1	0.299	0.329	0.293	0.307	0.301±0.01
		2	0.298	0.308	0.296	0.301	
		3	0.294	0.298	0.295	0.296	
	8	1	0.386	0.366	0.351	0.368	0.380±0.01
		2	0.386	0.384	0.385	0.385	
		3	0.390	0.387	0.385	0.387	
	10	1	0.548	0.626	0.607	0.594	0.603±0.01
		2	0.550	0.625	0.608	0.594	
		3	0.612	0.623	0.624	0.620	
	12	1	0.727	0.766	0.770	0.754	0.751±0.00
		2	0.731	0.763	0.751	0.748	
		3	0.765	0.734	0.752	0.750	
	14	1	0.889	0.748	0.810	0.816	0.813±0.02
		2	0.847	0.845	0.803	0.832	
		3	0.751	0.807	0.819	0.813	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย	
Chlorella sp. KP55	0	1	0.011	0.010	0.009	0.010	0.011±0.00
		2	0.011	0.013	0.011	0.012	
		3	0.010	0.011	0.012	0.011	
	2	1	0.021	0.022	0.021	0.021	0.021±0.00
		2	0.021	0.020	0.021	0.021	
		3	0.021	0.020	0.020	0.020	
	4	1	0.031	0.032	0.032	0.032	0.030±0.00
		2	0.030	0.030	0.032	0.031	
		3	0.028	0.028	0.025	0.027	
	6	1	0.060	0.061	0.061	0.061	0.061±0.00
		2	0.059	0.061	0.062	0.061	
		3	0.062	0.061	0.061	0.061	
	8	1	0.092	0.093	0.092	0.092	0.091±0.00
		2	0.088	0.088	0.089	0.088	
		3	0.090	0.091	0.092	0.091	
	10	1	0.151	0.150	0.150	0.150	0.150±0.00
		2	0.152	0.150	0.151	0.151	
		3	0.148	0.150	0.151	0.150	
	12	1	0.205	0.207	0.205	0.206	0.206±0.00
		2	0.206	0.206	0.204	0.205	
		3	0.207	0.206	0.206	0.206	
	14	1	0.236	0.237	0.237	0.237	0.238±0.00
		2	0.238	0.238	0.238	0.238	
		3	0.239	0.238	0.238	0.238	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย	
Chlorella sp. V55	0	1	0.018	0.017	0.021	0.019	0.019±0.00
		2	0.021	0.017	0.021	0.020	
		3	0.018	0.021	0.018	0.019	
	2	1	0.030	0.031	0.031	0.301	0.031±0.00
		2	0.031	0.032	0.031	0.031	
		3	0.032	0.032	0.032	0.032	
	4	1	0.049	0.048	0.048	0.048	0.049±0.00
		2	0.049	0.049	0.048	0.049	
		3	0.050	0.051	0.050	0.050	
	6	1	0.091	0.092	0.092	0.092	0.092±0.00
		2	0.092	0.091	0.092	0.092	
		3	0.092	0.093	0.093	0.093	
	8	1	0.151	0.150	0.151	0.151	0.151±0.00
		2	0.149	0.149	0.150	0.149	
		3	0.151	0.152	0.152	0.152	
	10	1	0.254	0.255	0.254	0.254	0.257±0.00
		2	0.258	0.258	0.257	0.258	
		3	0.258	0.259	0.259	0.259	
	12	1	0.326	0.326	0.325	0.326	0.327±0.00
		2	0.327	0.326	0.326	0.326	
		3	0.328	0.328	0.329	0.328	
	14	1	0.343	0.344	0.344	0.344	0.346±0.00
		2	0.345	0.346	0.346	0.346	
		3	0.348	0.348	0.347	0.348	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย	
Chlorella sp. 5	0	1	0.039	0.036	0.035	0.037	0.036±0.00
		2	0.036	0.036	0.035	0.036	
		3	0.036	0.035	0.036	0.036	
	2	1	0.110	0.108	0.107	0.108	0.108±0.00
		2	0.107	0.105	0.107	0.106	
		3	0.111	0.107	0.106	0.108	
	4	1	0.254	0.255	0.253	0.254	0.255±0.00
		2	0.256	0.256	0.255	0.256	
		3	0.255	0.254	0.255	0.255	
	6	1	0.408	0.396	0.397	0.400	0.399±0.00
		2	0.404	0.398	0.398	0.400	
		3	0.397	0.398	0.398	0.398	
	8	1	0.515	0.512	0.522	0.516	0.517±0.00
		2	0.518	0.512	0.517	0.516	
		3	0.520	0.522	0.518	0.520	
	10	1	0.608	0.626	0.621	0.618	0.620±0.00
		2	0.619	0.620	0.625	0.621	
		3	0.625	0.624	0.612	0.620	
	12	1	0.757	0.756	0.756	0.756	0.755±0.00
		2	0.756	0.754	0.755	0.755	
		3	0.754	0.754	0.754	0.754	
	14	1	0.785	0.786	0.783	0.785	0.786±0.00
		2	0.787	0.788	0.787	0.787	
		3	0.788	0.787	0.783	0.786	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย	
Scenedesmus sp. N-59	0	1	0.006	0.008	0.010	0.008	0.008±0.00
		2	0.007	0.007	0.007	0.007	
		3	0.005	0.009	0.009	0.008	
	2	1	0.036	0.042	0.044	0.041	0.043±0.00
		2	0.040	0.041	0.041	0.041	
		3	0.047	0.047	0.052	0.049	
	4	1	0.099	0.094	0.100	0.098	0.097±0.00
		2	0.096	0.094	0.094	0.095	
		3	0.097	0.098	0.098	0.098	
	6	1	0.149	0.151	0.151	0.150	0.150±0.00
		2	0.155	0.151	0.151	0.152	
		3	0.148	0.144	0.152	0.148	
	8	1	0.406	0.405	0.408	0.406	0.412±0.01
		2	0.411	0.412	0.409	0.411	
		3	0.416	0.418	0.419	0.418	
	10	1	0.525	0.535	0.529	0.530	0.518±0.03
		2	0.531	0.541	0.535	0.536	
		3	0.501	0.484	0.484	0.490	
	12	1	0.541	0.534	0.534	0.536	0.543±0.01
		2	0.535	0.537	0.582	0.536	
		3	0.546	0.536	0.538	0.540	
	14	1	0.509	0.509	0.509	0.509	0.544±0.03
		2	0.560	0.554	0.554	0.556	
		3	0.579	0.561	0.561	0.567	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย	
Scenedesmus sp. C	0	1	0.013	0.015	0.018	0.015	0.015±0.00
		2	0.013	0.014	0.015	0.014	
		3	0.015	0.016	0.016	0.016	
	2	1	0.084	0.085	0.081	0.083	0.084±0.00
		2	0.086	0.084	0.082	0.084	
		3	0.084	0.080	0.088	0.084	
	4	1	0.137	0.135	0.135	0.136	0.135±0.00
		2	0.134	0.132	0.131	0.132	
		3	0.134	0.136	0.137	0.136	
	6	1	0.240	0.239	0.239	0.239	0.243±0.00
		2	0.244	0.245	0.248	0.246	
		3	0.245	0.246	0.245	0.245	
	8	1	0.312	0.305	0.312	0.310	0.309±0.00
		2	0.305	0.308	0.311	0.308	
		3	0.308	0.310	0.309	0.309	
	10	1	0.414	0.416	0.407	0.412	0.414±0.00
		2	0.418	0.409	0.415	0.414	
		3	0.414	0.422	0.414	0.417	
	12	1	0.516	0.517	0.518	0.517	0.517±0.00
		2	0.515	0.516	0.518	0.516	
		3	0.518	0.519	0.518	0.518	
	14	1	0.630	0.626	0.631	0.629	0.627±0.01
		2	0.622	0.654	0.622	0.633	
		3	0.622	0.617	0.622	0.620	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย	
Scenedesmus sp. F9	0	1	0.020	0.020	0.021	0.020	0.020±0.00
		2	0.021	0.020	0.021	0.021	
		3	0.020	0.021	0.020	0.020	
	2	1	0.034	0.034	0.035	0.034	0.035±0.00
		2	0.035	0.036	0.033	0.035	
		3	0.035	0.035	0.034	0.035	
	4	1	0.127	0.129	0.128	0.128	0.128±0.00
		2	0.127	0.128	0.129	0.128	
		3	0.128	0.127	0.128	0.128	
	6	1	0.348	0.349	0.348	0.348	0.350±0.00
		2	0.351	0.350	0.351	0.351	
		3	0.352	0.350	0.351	0.351	
	8	1	0.348	0.349	0.348	0.348	0.350±0.00
		2	0.351	0.350	0.351	0.351	
		3	0.352	0.350	0.351	0.351	
	10	1	0.451	0.455	0.450	0.452	0.449±0.01
		2	0.452	0.454	0.454	0.453	
		3	0.442	0.442	0.441	0.442	
	12	1	0.532	0.530	0.531	0.531	0.531±0.00
		2	0.530	0.529	0.528	0.529	
		3	0.531	0.532	0.532	0.532	
	14	1	0.670	0.668	0.669	0.669	0.669±0.00
		2	0.669	0.669	0.671	0.670	
		3	0.668	0.668	0.667	0.669	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย	
Scenedesmus sp. F14	0	1	0.020	0.019	0.020	0.020	0.020±0.00
		2	0.021	0.020	0.020	0.020	
		3	0.019	0.020	0.019	0.019	
	2	1	0.051	0.046	0.041	0.046	0.047±0.00
		2	0.045	0.045	0.044	0.045	
		3	0.050	0.049	0.049	0.049	
	4	1	0.088	0.086	0.086	0.087	0.088±0.00
		2	0.088	0.087	0.088	0.088	
		3	0.090	0.088	0.088	0.089	
	6	1	0.142	0.141	0.142	0.142	0.142±0.00
		2	0.142	0.143	0.142	0.142	
		3	0.143	0.144	0.142	0.143	
	8	1	0.286	0.305	0.309	0.300	0.303±0.00
		2	0.305	0.307	0.305	0.306	
		3	0.305	0.304	0.300	0.303	
	10	1	0.405	0.411	0.417	0.411	0.410±0.01
		2	0.404	0.405	0.405	0.405	
		3	0.416	0.416	0.414	0.415	
	12	1	0.511	0.510	0.510	0.510	0.511±0.00
		2	0.510	0.512	0.510	0.511	
		3	0.512	0.510	0.510	0.511	
	14	1	0.709	0.711	0.710	0.710	0.710±0.00
		2	0.710	0.708	0.710	0.709	
		3	0.711	0.711	0.709	0.710	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย	
Scenedesmus sp. M12	0	1	0.012	0.010	0.008	0.010	0.010±0.00
		2	0.011	0.008	0.011	0.010	
		3	0.010	0.011	0.010	0.010	
	2	1	0.031	0.029	0.025	0.028	0.029±0.00
		2	0.024	0.030	0.031	0.028	
		3	0.031	0.030	0.031	0.031	
	4	1	0.098	0.097	0.094	0.096	0.096±0.00
		2	0.098	0.097	0.094	0.096	
		3	0.095	0.098	0.095	0.096	
	6	1	0.157	0.156	0.158	0.157	0.158±0.00
		2	0.159	0.155	0.157	0.157	
		3	0.159	0.157	0.161	0.159	
	8	1	0.232	0.232	0.230	0.231	0.230±0.00
		2	0.232	0.230	0.231	0.231	
		3	0.228	0.227	0.231	0.229	
	10	1	0.355	0.415	0.385	0.385	0.391±0.01
		2	0.378	0.412	0.391	0.394	
		3	0.408	0.389	0.388	0.395	
	12	1	0.497	0.539	0.507	0.514	0.510±0.01
		2	0.522	0.527	0.484	0.511	
		3	0.514	0.504	0.495	0.504	
	14	1	0.620	0.615	0.604	0.613	0.618±0.01
		2	0.619	0.618	0.612	0.616	
		3	0.626	0.625	0.624	0.618	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย	
Scenedesmus sp. M14	0	1	0.009	0.008	0.007	0.008	0.008±0.00
		2	0.008	0.008	0.009	0.008	
		3	0.009	0.009	0.007	0.008	
	2	1	0.029	0.025	0.029	0.028	0.029±0.00
		2	0.028	0.028	0.033	0.030	
		3	0.030	0.031	0.031	0.031	
	4	1	0.126	0.139	0.126	0.130	0.131±0.00
		2	0.135	0.136	0.135	0.135	
		3	0.129	0.132	0.124	0.128	
	6	1	0.264	0.265	0.264	0.264	0.263±0.00
		2	0.266	0.265	0.266	0.266	
		3	0.252	0.264	0.263	0.260	
	8	1	0.299	0.300	0.299	0.299	0.300±0.00
		2	0.302	0.305	0.304	0.304	
		3	0.295	0.296	0.299	0.297	
	10	1	0.416	0.436	0.416	0.423	0.417±0.00
		2	0.416	0.414	0.414	0.415	
		3	0.412	0.414	0.415	0.414	
	12	1	0.516	0.534	0.528	0.526	0.526±0.01
		2	0.518	0.524	0.519	0.520	
		3	0.532	0.534	0.529	0.532	
	14	1	0.646	0.641	0.640	0.642	0.647±0.01
		2	0.655	0.642	0.642	0.646	
		3	0.652	0.651	0.654	0.652	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย	
Chlorococcum sp. AB1	0	1	0.005	0.006	0.008	0.006	0.007±0.00
		2	0.008	0.007	0.007	0.007	
		3	0.008	0.008	0.006	0.007	
	2	1	0.027	0.029	0.029	0.028	0.028±0.00
		2	0.028	0.028	0.028	0.028	
		3	0.029	0.027	0.027	0.028	
	4	1	0.056	0.055	0.067	0.059	0.058±0.00
		2	0.058	0.058	0.057	0.058	
		3	0.058	0.058	0.056	0.057	
	6	1	0.108	0.110	0.109	0.109	0.109±0.00
		2	0.108	0.107	0.108	0.108	
		3	0.109	0.110	0.109	0.109	
	8	1	0.211	0.212	0.211	0.211	0.210±0.00
		2	0.209	0.208	0.212	0.210	
		3	0.210	0.211	0.210	0.210	
	10	1	0.362	0.380	0.368	0.370	0.369±0.00
		2	0.374	0.364	0.367	0.368	
		3	0.372	0.368	0.367	0.369	
	12	1	0.625	0.628	0.625	0.626	0.628±0.00
		2	0.631	0.629	0.631	0.630	
		3	0.627	0.628	0.629	0.628	
	14	1	0.658	0.629	0.682	0.656	0.663±0.01
		2	0.671	0.674	0.651	0.665	
		3	0.677	0.675	0.652	0.668	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-2 น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่ายขนาดเล็ก 15 สายพันธุ์ ในระดับฟลาสก์

สายพันธุ์	วัน	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง
		1	2	3	
Chlamydomonas sp. B1-59	0	0.16	0.14	0.18	0.16±0.02
	2	0.42	0.42	0.42	0.42±0.00
	4	0.72	0.74	0.74	0.73±0.01
	6	1.04	1.02	1.06	1.04±0.02
	8	1.62	1.62	1.62	1.62±0.00
	10	2.30	2.32	2.32	2.31±0.01
	12	2.80	2.82	2.82	2.81±0.01
	14	3.02	2.98	2.94	2.98±0.04
Chlorella sp. B2-59	0	0.02	0.04	0.04	0.03±0.01
	2	0.10	0.10	0.10	0.10±0.00
	4	0.34	0.34	0.34	0.34±0.00
	6	0.50	0.50	0.48	0.49±0.01
	8	0.60	0.60	0.58	0.59±0.01
	10	0.78	0.76	0.74	0.76±0.02
	12	0.96	0.94	0.92	0.94±0.02
	14	0.94	0.96	0.96	0.95±0.01
Chlorella sp. A	0	0.00	0.00	0.00	0.00±0.00
	2	0.02	0.00	0.00	0.01±0.01
	4	0.04	0.02	0.02	0.03±0.01
	6	0.20	0.20	0.16	0.19±0.02
	8	0.32	0.32	0.30	0.31±0.01
	10	0.50	0.50	0.48	0.49±0.01
	12	0.56	0.56	0.58	0.57±0.01
	14	0.68	0.66	0.70	0.68±0.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-2 (ต่อ)

สายพันธุ์	วัน	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง
		1	2	3	
Chlorella sp. B	0	0.00	0.00	0.02	0.01±0.01
	2	0.00	0.02	0.04	0.02±0.02
	4	0.02	0.04	0.04	0.03±0.01
	6	0.24	0.26	0.30	0.27±0.03
	8	0.50	0.52	0.56	0.53±0.03
	10	0.82	0.80	0.76	0.79±0.03
	12	0.94	1.02	0.96	0.97±0.04
	14	0.98	1.04	1.00	1.01±0.03
Chlorella sp. G	0	0.00	0.02	0.02	0.01±0.01
	2	0.02	0.04	0.04	0.03±0.01
	4	0.12	0.14	0.14	0.13±0.01
	6	0.28	0.24	0.24	0.25±0.02
	8	0.46	0.50	0.52	0.49±0.03
	10	0.62	0.64	0.68	0.65±0.03
	12	0.98	0.94	0.98	0.97±0.02
	14	1.08	1.10	1.08	1.09±0.01
Chlorella sp. KP55	0	0.02	0.00	0.00	0.01±0.01
	2	0.00	0.02	0.02	0.01±0.01
	4	0.04	0.02	0.04	0.03±0.01
	6	0.12	0.14	0.10	0.12±0.02
	8	0.20	0.24	0.22	0.22±0.02
	10	0.30	0.36	0.28	0.31±0.04
	12	0.50	0.46	0.48	0.48±0.02
	14	0.62	0.58	0.60	0.6±0.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-2 (ต่อ)

สายพันธุ์	วัน	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง
		1	2	3	
Chlorella sp. V55	0	0.02	0.00	0.02	0.01±0.01
	2	0.04	0.00	0.02	0.02±0.02
	4	0.04	0.06	0.08	0.06±0.02
	6	0.08	0.08	0.10	0.09±0.01
	8	0.20	0.20	0.20	0.20±0.00
	10	0.50	0.48	0.50	0.49±0.01
	12	0.64	0.66	0.68	0.66±0.02
	14	0.66	0.68	0.68	0.67±0.01
Chlorella sp. 5	0	0.02	0.00	0.00	0.01±0.01
	2	0.04	0.04	0.04	0.04±0.00
	4	0.14	0.14	0.14	0.14±0.00
	6	0.50	0.50	0.48	0.49±0.01
	8	0.80	0.78	0.80	0.79±0.01
	10	0.96	0.96	0.98	0.97±0.01
	12	1.12	1.12	1.10	1.11±0.01
	14	1.16	1.14	1.16	1.15±0.01
Scenedesmus sp. N-59	0	0.22	0.20	0.20	0.21±0.01
	2	0.34	0.32	0.34	0.33±0.01
	4	0.50	0.48	0.48	0.49±0.01
	6	1.00	0.96	1.00	0.99±0.02
	8	2.28	2.28	2.28	2.28±0.00
	10	2.78	2.82	2.76	2.79±0.03
	12	2.82	2.84	2.90	2.85±0.04
	14	2.88	2.86	2.78	2.84±0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-2 (ต่อ)

สายพันธุ์	วัน	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง
		1	2	3	
Scenedesmus sp. C	0	0.10	0.08	0.10	0.09±0.01
	2	0.18	0.20	0.20	0.19±0.01
	4	0.50	0.48	0.50	0.49±0.01
	6	0.58	0.58	0.60	0.59±0.01
	8	0.84	0.84	0.84	0.84±0.00
	10	1.24	1.24	1.22	1.23±0.01
	12	1.94	1.92	1.92	1.93±0.01
	14	2.30	2.30	2.28	2.29±0.01
Scenedesmus sp. F9	0	0.08	0.08	0.08	0.08±0.00
	2	0.12	0.12	0.14	0.13±0.01
	4	0.20	0.22	0.18	0.20±0.02
	6	0.46	0.44	0.44	0.45±0.01
	8	1.10	1.10	1.10	1.10±0.00
	10	1.74	1.76	1.76	1.75±0.01
	12	2.02	2.04	2.04	2.03±0.01
	14	2.50	2.52	2.50	2.51±0.01
Scenedesmus sp. F14	0	0.06	0.04	0.04	0.05±0.01
	2	0.08	0.10	0.08	0.09±0.01
	4	0.28	0.30	0.32	0.30±0.02
	6	0.46	0.48	0.50	0.48±0.02
	8	1.22	1.20	1.20	1.21±0.01
	10	1.78	1.76	1.74	1.76±0.02
	12	2.16	2.14	2.18	2.16±0.02
	14	2.64	2.62	2.64	2.63±0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-2 (ต่อ)

สายพันธุ์	วัน	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง
		1	2	3	
Scenedesmus sp. M12	0	0.02	0.02	0.04	0.03±0.01
	2	0.08	0.08	0.10	0.09±0.01
	4	0.26	0.30	0.28	0.28±0.02
	6	0.42	0.42	0.44	0.43±0.01
	8	0.60	0.60	0.58	0.59±0.01
	10	1.04	1.06	1.06	1.05±0.01
	12	1.42	1.46	1.46	1.45±0.02
	14	1.62	1.62	1.64	1.63±0.01
Scenedesmus sp. M14	0	0.06	0.04	0.06	0.05±0.01
	2	0.06	0.08	0.10	0.08±0.02
	4	0.22	0.22	0.20	0.21±0.01
	6	0.30	0.30	0.30	0.30±0.00
	8	0.56	0.56	0.56	0.56±0.00
	10	0.72	0.70	0.68	0.70±0.02
	12	1.24	1.24	1.26	1.25±0.01
	14	1.34	1.34	1.42	1.37±0.05
Chlorococcum sp. AB1	0	0.00	0.02	0.02	0.01±0.01
	2	0.04	0.04	0.02	0.03±0.01
	4	0.04	0.06	0.06	0.05±0.01
	6	0.08	0.10	0.08	0.09±0.01
	8	0.32	0.30	0.32	0.31±0.01
	10	0.82	0.80	0.82	0.81±0.01
	12	1.66	1.68	1.68	1.67±0.01
	14	1.86	1.84	1.84	1.85±0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-3 จำนวนเซลล์สาหร่ายของสาหร่ายขนาดเล็ก 15 สายพันธุ์ ในระดับฟลาสก์

สายพันธุ์	วัน	ชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์สาหร่าย (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)			ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์ ($x10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)
			1	2	เฉลี่ย		
Chlamydomonas sp. B1-59	0	1	3	4	4	4.0±0.00	0.10±0.01
		2	4	4	4		
		3	5	4	4		
	2	1	11	12	12	12.0±0.58	0.29±0.01
		2	11	11	11		
		3	11	13	12		
	4	1	20	21	21	22.0±1.15	0.55±0.03
		2	22	23	23		
		3	23	23	23		
	6	1	32	30	31	31.0±0.58	0.78±0.02
		2	33	29	31		
		3	30	33	32		
	8	1	48	48	48	49.0±1.00	1.23±0.03
		2	50	50	50		
		3	46	52	49		
	10	1	68	70	69	73.0±3.21	1.82±0.08
		2	78	70	74		
		3	72	78	75		
	12	1	94	92	93	94.0±1.15	2.34±0.03
		2	92	98	95		
		3	88	98	93		
	14	1	260	280	270	263.0±30.55	2.50±0.76
		2	300	280	290		
		3	220	240	230		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-3 (ต่อ)

สายพันธุ์	วัน	ชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์สาหร่าย (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)			ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์ ($x10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)
			1	2	เฉลี่ย		
Chlorella sp. B2-59	0	1	3	4	4	4.0±0.00	0.10±0.01
		2	4	5	4		
		3	3	5	4		
	2	1	29	30	29	30.0±0.58	0.74±0.00
		2	30	29	30		
		3	31	29	30		
	4	1	82	81	81	82.0±1.53	2.05±0.03
		2	79	84	82		
		3	82	86	84		
	6	1	110	104	107	107.0±10.50	2.69±0.27
		2	110	127	118		
		3	98	95	97		
	8	1	146	128	137	130.0±15.72	3.25±0.40
		2	126	156	141		
		3	124	100	112		
	10	1	188	172	180	165.0±14.11	4.13±0.35
		2	162	164	163		
		3	152	152	152		
	12	1	172	188	180	190.0±8.50	4.74±0.21
		2	194	192	193		
		3	194	198	196		
	14	1	184	188	186	192.0±6.03	4.79±0.15
		2	192	204	198		
		3	202	180	191		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-3 (ต่อ)

สายพันธุ์	วัน	ชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์สาหร่าย (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)			ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์ ($x10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)
			1	2	เฉลี่ย		
Chlorella sp. A	0	1	2	2	2	2.0±0.00	0.05±0.01
		2	2	2	2		
		3	1	2	2		
	2	1	6	6	6	7.00±1.00	0.17±0.02
		2	7	8	7		
		3	7	8	8		
	4	1	10	11	11	11.0±0.58	0.28±0.01
		2	11	12	11		
		3	11	12	12		
	6	1	82	84	83	85.0±1.73	2.13±0.04
		2	82	90	86		
		3	78	94	86		
	8	1	102	122	112	125.0±13.58	3.12±0.34
		2	134	144	139		
		3	132	114	123		
	10	1	186	192	189	190.0±2.08	4.74±0.05
		2	180	196	188		
		3	188	196	192		
	12	1	200	224	212	211.0±2.31	5.27±0.06
		2	210	206	208		
		3	210	214	212		
	14	1	232	254	243	240.0±4.93	5.99±0.13
		2	242	242	242		
		3	224	244	234		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-3 (ต่อ)

สายพันธุ์	วัน	ชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์สาหร่าย (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)			ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์ ($x10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)
			1	2	เฉลี่ย		
Chlorella sp. B	0	1	1	1	1	1.0±0.00	0.02±0.00
		2	1	1	1		
		3	1	1	1		
	2	1	6	6	6	7.0±0.58	0.16±0.01
		2	7	6	7		
		3	7	6	7		
	4	1	13	12	12	13.0±0.58	0.31±0.00
		2	13	12	13		
		3	12	13	13		
	6	1	82	80	81	85.0±4.58	2.13±0.11
		2	82	86	84		
		3	94	86	90		
	8	1	166	138	152	156.0±4.51	3.91±0.11
		2	154	158	156		
		3	162	160	161		
	10	1	212	212	212	203.0±8.19	5.08±0.20
		2	198	194	196		
		3	204	198	201		
	12	1	236	230	233	236.0±3.06	5.87±0.08
		2	240	238	239		
		3	230	240	235		
	14	1	252	240	246	248.0±2.08	6.19±0.05
		2	250	250	250		
		3	250	244	247		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-3 (ต่อ)

สายพันธุ์	วัน	ชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์สาหร่าย (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)			ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์ ($x10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)
			1	2	เฉลี่ย		
Chlorella sp. G	0	1	3	3	3	3.0±0.00	0.08±0.00
		2	3	3	3		
		3	3	3	3		
	2	1	6	6	6	6.0±0.00	0.15±0.01
		2	6	6	6		
		3	6	6	6		
	4	1	39	43	41	41.0±1.00	1.02±0.02
		2	40	40	40		
		3	44	39	42		
	6	1	82	74	78	73.0±4.16	1.83±0.10
		2	74	70	72		
		3	70	70	70		
	8	1	112	132	122	126.0±3.79	3.16±0.10
		2	116	142	129		
		3	134	122	128		
	10	1	164	164	164	165.0±1.73	4.13±0.05
		2	174	160	167		
		3	174	154	164		
	12	1	234	244	239	241.0±2.65	6.03±0.06
		2	236	252	244		
		3	250	230	240		
	14	1	256	250	253	266.0±11.27	6.65±0.28
		2	262	282	272		
		3	268	278	273		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-3 (ต่อ)

สายพันธุ์	วัน	ชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์สาหร่าย (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)			ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์ ($x10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)
			1	2	เฉลี่ย		
Chlorella sp. KP55	0	1	2	2	2	2.0±0.00	0.04±0.00
		2	2	2	2		
		3	2	2	2		
	2	1	5	4	5	5.0±0.58	0.1±0.01
		2	5	5	5		
		3	4	4	4		
	4	1	10	11	11	11.0±0.00	0.27±0.00
		2	11	11	11		
		3	10	11	11		
	6	1	30	34	32	33.0±1.00	0.83±0.03
		2	38	28	33		
		3	36	32	34		
	8	1	48	48	48	50.0±2.52	1.26±0.07
		2	48	58	53		
		3	52	48	50		
	10	1	84	86	85	85.0±0.58	2.12±0.02
		2	80	88	84		
		3	84	86	85		
	12	1	126	126	126	124.0±2.00	3.10±0.05
		2	122	126	124		
		3	130	114	122		
	14	1	138	142	140	140.0±1.53	3.51±0.04
		2	134	144	139		
		3	144	140	142		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-3 (ต่อ)

สายพันธุ์	วัน	ชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์สาหร่าย (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)			ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์ ($x10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)
			1	2	เฉลี่ย		
Chlorella sp. V55	0	1	3	2	2	2.00±0.00	0.06±0.00
		2	3	2	2		
		3	2	2	2		
	2	1	8	9	8	7.0±0.58	0.19±0.02
		2	7	7	7		
		3	7	7	7		
	4	1	20	20	20	21.0±0.58	0.52±0.07
		2	20	21	21		
		3	20	21	21		
	6	1	35	36	36	36.0±0.58	0.89±0.19
		2	34	36	35		
		3	36	37	36		
	8	1	74	78	76	77.0±0.58	1.92±0.02
		2	74	80	77		
		3	76	78	77		
	10	1	158	170	164	161.0±3.06	4.02±0.08
		2	162	154	158		
		3	160	160	160		
	12	1	194	202	198	201.0±2.52	5.02±0.07
		2	198	204	201		
		3	192	214	203		
	14	1	204	200	202	203.0±1.53	5.08±0.04
		2	204	202	203		
		3	202	208	205		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-3 (ต่อ)

สายพันธุ์	วัน	ชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์สาหร่าย (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)			ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์ ($x10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)
			1	2	เฉลี่ย		
Chlorella sp. 5	0	1	8	8	8	8.00±0.00	0.20±0.01
		2	8	8	8		
		3	8	8	8		
	2	1	16	17	17	17.0±0.00	0.41±0.01
		2	17	16	17		
		3	16	17	17		
	4	1	44	46	45	45.0±0.58	1.13±0.01
		2	45	46	46		
		3	44	46	45		
	6	1	124	124	124	129.0±4.16	3.22±0.10
		2	134	130	132		
		3	128	132	130		
	8	1	196	210	203	202.0±1.53	5.04±0.04
		2	188	216	202		
		3	198	202	200		
	10	1	238	226	232	233.0±1.00	5.83±0.03
		2	234	232	233		
		3	234	234	234		
	12	1	260	278	269	272.0±6.08	6.80±0.15
		2	278	258	268		
		3	276	282	279		
	14	1	288	272	280	275.0±4.51	6.88±0.11
		2	266	276	271		
		3	268	282	275		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-3 (ต่อ)

สายพันธุ์	วัน	ชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์สาหร่าย (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)			ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์ ($x10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)
			1	2	เฉลี่ย		
Scenedesmus sp. N-59	0	1	1	1	1	1.0±0.00	0.01±0.00
		2	1	0	1		
		3	0	1	1		
	2	1	1	1	1	1.0±0.00	0.03±0.00
		2	1	1	1		
		3	1	2	1		
	4	1	2	2	2	2.0±0.00	0.04±0.01
		2	2	2	2		
		3	2	1	2		
	6	1	4	3	3	3.0±0.58	0.08±0.01
		2	3	3	3		
		3	4	3	4		
	8	1	8	8	8	8.0±0.00	0.20±0.00
		2	8	9	8		
		3	8	7	8		
	10	1	11	10	10	10.0±0.58	0.26±0.01
		2	10	11	10		
		3	10	11	11		
	12	1	11	12	12	11.0±1.0	0.27±0.02
		2	10	11	10		
		3	10	11	11		
	14	1	11	9	10	10.0±0.58	0.26±0.00
		2	11	10	11		
		3	10	10	10		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-3 (ต่อ)

สายพันธุ์	วัน	ชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์สาหร่าย (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)			ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์ ($x10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)
			1	2	เฉลี่ย		
Scenedesmus sp. C	0	1	0	1	1	1.0±0.00	0.02±0.01
		2	1	1	1		
		3	1	0	1		
	2	1	1	1	1	1.0±0.00	0.03±0.00
		2	1	1	1		
		3	1	1	1		
	4	1	3	3	3	3.0±0.00	0.08±0.00
		2	3	3	3		
		3	3	3	3		
	6	1	4	3	4	4.0±0.58	0.09±0.01
		2	4	3	4		
		3	3	3	3		
	8	1	6	5	5	5.0±0.58	0.13±0.01
		2	5	6	5		
		3	5	6	6		
	10	1	9	9	9	9.0±0.00	0.22±0.00
		2	8	9	9		
		3	9	8	9		
	12	1	14	14	14	15.0±1.00	0.37±0.02
		2	14	17	16		
		3	17	13	15		
	14	1	18	19	18	18.0±0.58	0.46±0.01
		2	18	18	18		
		3	17	20	19		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-3 (ต่อ)

สายพันธุ์	วัน	ชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์สาหร่าย (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)			ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์ ($x10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)
			1	2	เฉลี่ย		
Scenedesmus sp. F9	0	1	0	1	1	0.7±0.58	0.01±0.00
		2	1	0	1		
		3	0	0	0		
	2	1	2	1	2	2.0±0.00	0.04±0.00
		2	2	1	2		
		3	2	2	2		
	4	1	3	2	3	3.0±0.00	0.07±0.00
		2	3	3	3		
		3	3	3	3		
	6	1	7	7	7	7.7±0.58	0.19±0.01
		2	8	8	8		
		3	8	7	8		
	8	1	9	8	9	8.3±0.58	0.21±0.01
		2	8	8	8		
		3	7	9	8		
	10	1	13	13	13	12.7±0.58	0.31±0.01
		2	13	12	13		
		3	12	12	12		
	12	1	14	17	16	16.0±0.00	0.39±0.01
		2	16	15	16		
		3	16	15	16		
	14	1	19	18	19	19.0±0.00	0.48±0.01
		2	19	19	19		
		3	19	20	19		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-3 (ต่อ)

สายพันธุ์	วัน	ชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์สาหร่าย (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)			ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์ ($x10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)
			1	2	เฉลี่ย		
Scenedesmus sp. F14	0	1	1	0	0	1.0±0.58	0.01±0.00
		2	1	0	1		
		3	0	1	1		
	2	1	1	1	1	1.0±0.00	0.02±0.00
		2	1	1	1		
		3	1	1	1		
	4	1	2	2	2	2.0±0.00	0.05±0.01
		2	1	2	2		
		3	2	2	2		
	6	1	4	3	4	4.0±0.58	0.09±0.00
		2	4	3	3		
		3	3	4	4		
	8	1	8	8	8	8.0±0.58	0.21±0.01
		2	9	8	9		
		3	8	8	8		
	10	1	12	13	13	13.0±0.58	0.34±0.02
		2	13	15	14		
		3	13	14	13		
	12	1	17	18	17	17.0±0.00	0.43±0.01
		2	17	18	17		
		3	18	16	17		
	14	1	21	23	22	21.0±0.58	0.52±0.02
		2	20	21	21		
		3	20	21	21		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-3 (ต่อ)

สายพันธุ์	วัน	ชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์สาหร่าย (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)			ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์ ($x10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)
			1	2	เฉลี่ย		
Scenedesmus sp. M12	0	1	1	1	0	1.0±0.58	0.01±0.00
		2	0	1	1		
		3	1	0	0		
	2	1	1	1	1	1.0±0.00	0.01±0.01
		2	1	0	1		
		3	1	1	1		
	4	1	2	3	2	2.0±0.00	0.06±0.01
		2	2	3	2		
		3	2	2	2		
	6	1	4	4	4	4.0±0.00	0.10±0.00
		2	4	4	4		
		3	4	5	4		
	8	1	5	5	5	6.0±0.58	0.14±0.01
		2	6	5	6		
		3	6	6	6		
	10	1	11	11	11	11.0±0.00	0.27±0.01
		2	11	12	11		
		3	10	11	11		
	12	1	14	16	15	15.0±0.58	0.38±0.01
		2	14	16	15		
		3	16	15	16		
	14	1	18	18	18	18.0±0.58	0.44±0.02
		2	18	17	18		
		3	16	17	17		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-3 (ต่อ)

สายพันธุ์	วัน	ชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์สาหร่าย (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)			ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์ ($x10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)
			1	2	เฉลี่ย		
Scenedesmus sp. M14	0	1	0	1	1	1.0±0.58	0.01±0.00
		2	0	1	0		
		3	0	1	1		
	2	1	1	1	1	1.0±0.00	0.02±0.00
		2	1	1	1		
		3	1	1	1		
	4	1	2	2	2	3.0±0.58	0.06±0.01
		2	3	2	3		
		3	3	3	3		
	6	1	3	4	4	4.0±0.00	0.09±0.00
		2	3	4	4		
		3	4	3	4		
	8	1	8	8	8	8.0±0.58	0.19±0.02
		2	8	7	8		
		3	8	6	7		
	10	1	10	10	10	10.0±0.00	0.24±0.01
		2	9	10	10		
		3	9	10	10		
	12	1	18	18	18	18.0±0.58	0.44±0.01
		2	17	17	17		
		3	18	18	18		
	14	1	19	20	20	19.0±0.58	0.48±0.01
		2	19	20	19		
		3	19	19	19		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-3 (ต่อ)

สายพันธุ์	วัน	ชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์สาหร่าย (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)			ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์ ($x10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)
			1	2	เฉลี่ย		
Chlorococcum sp. AB1	0	1	1	0	1	1.0±0.58	0.01±0.01
		2	1	1	1		
		3	0	1	0		
	2	1	2	1	1	2.0±0.58	0.04±0.00
		2	2	1	2		
		3	1	2	2		
	4	1	3	3	3	3.0±0.00	0.08±0.00
		2	3	3	3		
		3	3	3	3		
	6	1	11	10	11	11.0±0.58	0.26±0.01
		2	10	11	11		
		3	10	10	10		
	8	1	28	30	29	29.0±0.58	0.72±0.02
		2	28	30	29		
		3	26	30	28		
	10	1	80	62	71	73.0±5.29	1.83±0.13
		2	60	78	69		
		3	84	74	79		
	12	1	116	140	128	136.0±11.15	3.41±0.28
		2	158	140	149		
		3	152	112	132		
	14	1	132	182	157	151.0±5.29	3.78±0.13
		2	144	150	147		
		3	140	158	149		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-4 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 490 นาโนเมตร ของสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็ก 15 สายพันธุ์ ในระดับฟลาสก์ ในการวิเคราะห์ปริมาณพอลิแซคคาไรด์เบื้องต้น ด้วยวิธีฟีนอลซัลฟิวริก

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง	ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)
			1	2	3	เฉลี่ย		
Chlamydomonas sp. B1-59	0	1	0.130	0.129	0.130	0.130	0.129±0.00	26.8333±0.11
		2	0.131	0.129	0.126	0.129		
		3	0.130	0.131	0.125	0.129		
	2	1	0.159	0.161	0.158	0.159	0.159±0.00	32.5385±0.19
		2	0.161	0.160	0.160	0.160		
		3	0.158	0.157	0.158	0.158		
	4	1	0.201	0.196	0.196	0.198	0.200±0.00	40.4231±0.33
		2	0.201	0.201	0.202	0.201		
		3	0.201	0.201	0.200	0.201		
	6	1	0.223	0.222	0.236	0.227	0.223±0.00	44.8462±0.67
		2	0.221	0.221	0.222	0.221		
		3	0.222	0.220	0.220	0.221		
	8	1	0.326	0.322	0.321	0.323	0.316±0.01	62.7310±2.17
		2	0.322	0.323	0.321	0.322		
		3	0.315	0.314	0.280	0.303		
	10	1	0.259	0.260	0.260	0.260	0.251±0.01	50.2308±2.51
		2	0.255	0.259	0.258	0.257		
		3	0.238	0.238	0.232	0.236		
	12	1	0.180	0.179	0.175	0.178	0.180±0.00	36.6410±0.40
		2	0.182	0.182	0.179	0.181		
		3	0.183	0.181	0.181	0.182		
	14	1	0.141	0.140	0.136	0.139	0.130±0.01	27.0256±1.97
		2	0.135	0.135	0.129	0.133		
		3	0.119	0.119	0.120	0.119		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-4 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง	ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย		
Chlorella sp. B2-59	0	1	0.130	0.132	0.128	0.130	0.132±0.01	27.3462±1.20
		2	0.138	0.145	0.135	0.139		
		3	0.120	0.135	0.125	0.127		
	2	1	0.160	0.166	0.167	0.164	0.159±0.01	32.4744±1.18
		2	0.159	0.156	0.165	0.160		
		3	0.150	0.150	0.155	0.152		
	4	1	0.192	0.190	0.191	0.191	0.186±0.00	37.7949±0.78
		2	0.172	0.190	0.189	0.184		
		3	0.182	0.185	0.185	0.184		
	6	1	0.269	0.260	0.261	0.263	0.261±0.00	52.1538±0.33
		2	0.261	0.260	0.260	0.260		
		3	0.260	0.259	0.262	0.260		
	8	1	0.256	0.245	0.241	0.247	0.243±0.00	48.7564±0.68
		2	0.243	0.242	0.243	0.243		
		3	0.241	0.239	0.240	0.240		
	10	1	0.314	0.315	0.310	0.313	0.313±0.00	62.0900±0.11
		2	0.312	0.311	0.313	0.312		
		3	0.311	0.312	0.316	0.313		
	12	1	0.232	0.231	0.240	0.234	0.235±0.00	47.0256±0.29
		2	0.235	0.235	0.230	0.233		
		3	0.233	0.237	0.239	0.236		
	14	1	0.199	0.198	0.194	0.197	0.196±0.00	39.6539±0.51
		2	0.194	0.194	0.191	0.193		
		3	0.195	0.200	0.200	0.198		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-4 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง	ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย		
Chlorella sp. A	0	1	0.119	0.121	0.119	0.120	0.119±0.00	24.9103±0.22
		2	0.118	0.118	0.119	0.118		
		3	0.120	0.120	0.119	0.120		
	2	1	0.122	0.124	0.125	0.124	0.122±0.00	25.5513±0.29
		2	0.124	0.120	0.124	0.123		
		3	0.122	0.122	0.119	0.121		
	4	1	0.150	0.148	0.141	0.146	0.151±0.01	30.9359±2.44
		2	0.164	0.169	0.162	0.165		
		3	0.140	0.140	0.142	0.141		
	6	1	0.229	0.233	0.233	0.232	0.231±0.00	46.4487±0.22
		2	0.230	0.230	0.230	0.230		
		3	0.232	0.232	0.233	0.232		
	8	1	0.560	0.561	0.561	0.561	0.559±0.00	109.3973 ±0.62
		2	0.560	0.559	0.561	0.560		
		3	0.549	0.557	0.559	0.555		
	10	1	0.332	0.331	0.320	0.328	0.318±0.01	63.0513±2.25
		2	0.301	0.308	0.305	0.305		
		3	0.320	0.321	0.320	0.320		
	12	1	0.232	0.230	0.235	0.232	0.233±0.00	46.7692±0.51
		2	0.240	0.238	0.230	0.236		
		3	0.234	0.230	0.230	0.231		
	14	1	0.198	0.190	0.188	0.199	0.181±0.01	38.6923±1.45
		2	0.188	0.187	0.184	0.190		
		3	0.162	0.162	0.167	0.184		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-4 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง	ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย		
Chlorella sp. B	0	1	0.156	0.157	0.155	0.156	0.155±0.00	31.8333±0.40
		2	0.155	0.160	0.156	0.157		
		3	0.152	0.153	0.155	0.153		
	2	1	0.162	0.163	0.160	0.162	0.163±0.00	33.3718±0.29
		2	0.163	0.168	0.163	0.165		
		3	0.163	0.165	0.162	0.163		
	4	1	0.221	0.220	0.221	0.221	0.221±0.00	44.5256±0.11
		2	0.220	0.227	0.219	0.222		
		3	0.225	0.219	0.220	0.221		
	6	1	0.250	0.253	0.252	0.252	0.250±0.00	50.0385±0.33
		2	0.249	0.248	0.250	0.249		
		3	0.250	0.249	0.249	0.249		
	8	1	0.326	0.325	0.237	0.296	0.315±0.02	62.3463±3.00
		2	0.325	0.325	0.331	0.327		
		3	0.325	0.316	0.324	0.322		
	10	1	0.302	0.310	0.314	0.309	0.304±0.01	60.3590±0.97
		2	0.302	0.298	0.310	0.303		
		3	0.298	0.299	0.299	0.299		
	12	1	0.201	0.221	0.210	0.211	0.210±0.01	42.2821±1.36
		2	0.219	0.220	0.210	0.216		
		3	0.201	0.203	0.201	0.202		
	14	1	0.170	0.172	0.173	0.172	0.170±0.00	34.6539±0.38
		2	0.181	0.170	0.153	0.168		
		3	0.163	0.180	0.166	0.170		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-4 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง	ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย		
Chlorella sp. G	0	1	0.152	0.148	0.148	0.149	0.152±0.01	31.1923±1.00
		2	0.152	0.149	0.148	0.149		
		3	0.161	0.155	0.149	0.158		
	2	1	0.201	0.201	0.200	0.201	0.205±0.01	41.3205±1.22
		2	0.200	0.202	0.202	0.201		
		3	0.213	0.213	0.209	0.212		
	4	1	0.245	0.240	0.240	0.242	0.241±0.00	48.3718±0.11
		2	0.241	0.241	0.242	0.241		
		3	0.242	0.240	0.240	0.241		
	6	1	0.345	0.346	0.348	0.346	0.350±0.00	69.3333±0.78
		2	0.351	0.351	0.350	0.351		
		3	0.351	0.355	0.355	0.354		
	8	1	0.299	0.300	0.302	0.300	0.299±0.00	59.4615±0.51
		2	0.301	0.305	0.298	0.301		
		3	0.295	0.295	0.298	0.296		
	10	1	0.211	0.217	0.215	0.214	0.216±0.01	43.5000±1.02
		2	0.210	0.215	0.211	0.212		
		3	0.224	0.223	0.220	0.222		
	12	1	0.151	0.158	0.152	0.154	0.154±0.00	31.6410±0.48
		2	0.151	0.153	0.151	0.152		
		3	0.160	0.158	0.154	0.157		
	14	1	0.131	0.129	0.128	0.129	0.128±0.00	26.6410±0.11
		2	0.125	0.129	0.129	0.128		
		3	0.129	0.125	0.130	0.128		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-4 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง	ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย		
Chlorella sp. KP55	0	1	0.131	0.130	0.132	0.131	0.132±0.00	27.4103±0.22
		2	0.134	0.132	0.133	0.133		
		3	0.133	0.133	0.133	0.133		
	2	1	0.151	0.151	0.151	0.151	0.156±0.01	31.9615±1.35
		2	0.160	0.176	0.155	0.164		
		3	0.152	0.154	0.152	0.153		
	4	1	0.201	0.198	0.198	0.199	0.198±0.00	40.1026±0.11
		2	0.199	0.197	0.197	0.198		
		3	0.199	0.200	0.196	0.198		
	6	1	0.255	0.253	0.250	0.253	0.252±0.00	50.4872±0.22
		2	0.250	0.250	0.258	0.253		
		3	0.251	0.250	0.251	0.251		
	8	1	0.338	0.328	0.333	0.333	0.336±0.00	66.5770±0.69
		2	0.337	0.337	0.345	0.340		
		3	0.329	0.338	0.338	0.335		
	10	1	0.300	0.301	0.299	0.300	0.230±0.00	59.5897±0.11
		2	0.298	0.307	0.291	0.299		
		3	0.300	0.301	0.300	0.300		
	12	1	0.232	0.251	0.251	0.245	0.234±0.01	46.9615±1.95
		2	0.212	0.232	0.231	0.225		
		3	0.232	0.230	0.233	0.232		
	14	1	0.129	0.117	0.132	0.126	0.130±0.00	26.8974±0.62
		2	0.131	0.131	0.131	0.131		
		3	0.133	0.133	0.129	0.132		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-4 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง	ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย		
Chlorella sp. V55	0	1	0.152	0.149	0.145	0.149	0.148±0.00	30.3580±0.22
		2	0.145	0.150	0.146	0.147		
		3	0.147	0.147	0.147	0.147		
	2	1	0.201	0.210	0.209	0.207	0.205±0.01	41.4487±1.47
		2	0.199	0.192	0.199	0.197		
		3	0.211	0.210	0.215	0.212		
	4	1	0.191	0.191	0.192	0.191	0.192±0.00	38.8846±0.19
		2	0.192	0.193	0.192	0.192		
		3	0.199	0.190	0.190	0.193		
	6	1	0.229	0.229	0.320	0.259	0.240±0.02	48.1795±3.11
		2	0.231	0.230	0.229	0.230		
		3	0.228	0.231	0.236	0.232		
	8	1	0.308	0.307	0.300	0.305	0.306±0.00	60.8718±0.29
		2	0.309	0.300	0.308	0.306		
		3	0.309	0.307	0.307	0.308		
	10	1	0.326	0.329	0.329	0.328	0.325±0.00	64.5257±0.48
		2	0.325	0.325	0.320	0.323		
		3	0.325	0.326	0.324	0.325		
	12	1	0.231	0.251	0.250	0.244	0.236±0.02	47.4103±4.33
		2	0.232	0.281	0.249	0.254		
		3	0.202	0.210	0.220	0.211		
	14	1	0.192	0.150	0.158	0.167	0.162±0.00	33.0513±0.91
		2	0.151	0.162	0.160	0.158		
		3	0.162	0.159	0.160	0.160		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-4 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง	ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย		
Chlorella sp. 5	0	1	0.130	0.132	0.133	0.132	0.120±0.02	25.0385±2.91
		2	0.099	0.099	0.110	0.103		
		3	0.130	0.129	0.125	0.125		
	2	1	0.160	0.161	0.171	0.164	0.161±0.00	32.7949±0.68
		2	0.161	0.159	0.161	0.160		
		3	0.160	0.155	0.157	0.157		
	4	1	0.170	0.175	0.173	0.173	0.179±0.01	36.3205±1.42
		2	0.185	0.190	0.185	0.187		
		3	0.172	0.177	0.180	0.176		
	6	1	0.230	0.236	0.229	0.232	0.235±0.00	47.2180±0.59
		2	0.237	0.235	0.235	0.236		
		3	0.241	0.239	0.235	0.238		
	8	1	0.251	0.246	0.241	0.246	0.249±0.01	49.8462±1.53
		2	0.241	0.248	0.239	0.243		
		3	0.260	0.255	0.260	0.258		
	10	1	0.314	0.316	0.316	0.315	0.315±0.00	62.4100±0.11
		2	0.316	0.316	0.310	0.314		
		3	0.315	0.316	0.312	0.314		
	12	1	0.229	0.230	0.241	0.233	0.234±0.01	47.0256±0.99
		2	0.240	0.239	0.241	0.240		
		3	0.229	0.230	0.230	0.230		
	14	1	0.181	0.188	0.181	0.183	0.183±0.00	37.0256±0.11
		2	0.181	0.181	0.185	0.182		
		3	0.180	0.184	0.183	0.182		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-4 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง	ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย		
Scenedesmus sp. N-59	0	1	0.155	0.152	0.152	0.153	0.151±0.00	31.0641±0.29
		2	0.151	0.149	0.151	0.150		
		3	0.145	0.152	0.155	0.151		
	2	1	0.155	0.158	0.152	0.155	0.162±0.01	33.1795±2.61
		2	0.152	0.161	0.150	0.154		
		3	0.182	0.179	0.173	0.178		
	4	1	0.206	0.210	0.210	0.209	0.193±0.02	39.0128±2.99
		2	0.192	0.188	0.193	0.191		
		3	0.180	0.179	0.176	0.178		
	6	1	0.284	0.284	0.286	0.285	0.281±0.00	56.0000±0.69
		2	0.279	0.278	0.278	0.278		
		3	0.279	0.280	0.281	0.280		
	8	1	0.311	0.310	0.309	0.310	0.309±0.00	61.3847±0.19
		2	0.309	0.309	0.310	0.309		
		3	0.309	0.308	0.307	0.308		
	10	1	0.217	0.216	0.216	0.216	0.216±0.00	43.3718±0.22
		2	0.216	0.216	0.216	0.216		
		3	0.217	0.210	0.216	0.214		
	12	1	0.187	0.187	0.188	0.187	0.188±0.00	38.0513±0.11
		2	0.189	0.189	0.185	0.188		
		3	0.189	0.187	0.187	0.188		
	14	1	0.155	0.150	0.153	0.153	0.148±0.01	30.5513±1.13
		2	0.153	0.150	0.150	0.151		
		3	0.140	0.145	0.140	0.142		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-4 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง	ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย		
Scenedesmus sp. C	0	1	0.122	0.120	0.122	0.121	0.120±0.00	24.9103±0.29
		2	0.119	0.119	0.120	0.119		
		3	0.119	0.118	0.118	0.118		
	2	1	0.191	0.191	0.195	0.192	0.193±0.00	39.1410±0.44
		2	0.189	0.193	0.193	0.192		
		3	0.195	0.195	0.197	0.196		
	4	1	0.128	0.118	0.115	0.120	0.132±0.01	27.3462±2.22
		2	0.143	0.142	0.143	0.143		
		3	0.133	0.135	0.130	0.133		
	6	1	0.221	0.224	0.224	0.223	0.239±0.02	47.8590±3.96
		2	0.262	0.263	0.262	0.262		
		3	0.232	0.231	0.231	0.231		
	8	1	0.532	0.550	0.553	0.554	0.549±0.00	108.1793±0.40
		2	0.553	0.544	0.554	0.550		
		3	0.552	0.554	0.553	0.553		
	10	1	0.352	0.351	0.351	0.351	0.351±0.00	69.4615±0.19
		2	0.350	0.349	0.351	0.350		
		3	0.351	0.355	0.351	0.352		
	12	1	0.225	0.221	0.221	0.222	0.223±0.00	44.7821±0.22
		2	0.224	0.223	0.225	0.224		
		3	0.222	0.223	0.221	0.222		
	14	1	0.139	0.131	0.130	0.133	0.146±0.01	29.9744±2.11
		2	0.153	0.153	0.150	0.152		
		3	0.151	0.153	0.153	0.152		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-4 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง	ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย		
Scenedesmus sp. F9	0	1	0.139	0.130	0.130	0.133	0.124±0.01	25.8077±1.50
		2	0.119	0.121	0.121	0.120		
		3	0.119	0.119	0.119	0.119		
	2	1	0.186	0.188	0.186	0.187	0.184±0.00	37.4103±0.59
		2	0.188	0.188	0.180	0.185		
		3	0.181	0.181	0.182	0.181		
	4	1	0.251	0.250	0.250	0.250	0.249±0.00	49.7821±0.62
		2	0.250	0.251	0.251	0.251		
		3	0.245	0.246	0.245	0.245		
	6	1	0.307	0.307	0.306	0.307	0.307±0.00	61.0641±0.11
		2	0.306	0.310	0.307	0.308		
		3	0.307	0.307	0.306	0.307		
	8	1	0.340	0.340	0.341	0.340	0.340±0.00	67.2807±0.11
		2	0.339	0.339	0.340	0.339		
		3	0.339	0.341	0.341	0.340		
	10	1	0.250	0.251	0.251	0.251	0.245±0.01	49.0769±1.07
		2	0.249	0.242	0.241	0.244		
		3	0.240	0.241	0.240	0.240		
	12	1	0.179	0.179	0.175	0.175	0.178±0.01	36.2564±1.11
		2	0.190	0.184	0.180	0.185		
		3	0.175	0.179	0.170	0.175		
	14	1	0.118	0.115	0.115	0.116	0.117±0.00	24.4615±0.33
		2	0.119	0.120	0.119	0.119		
		3	0.118	0.119	0.112	0.116		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-4 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง	ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย		
Scenedesmus sp. F14	0	1	0.067	0.066	0.067	0.067	0.068±0.00	15.0385±0.19
		2	0.069	0.068	0.068	0.068		
		3	0.069	0.070	0.069	0.069		
	2	1	0.098	0.098	0.099	0.098	0.103±0.01	21.7051±1.39
		2	0.110	0.111	0.112	0.111		
		3	0.099	0.098	0.101	0.099		
	4	1	0.242	0.241	0.240	0.241	0.242±0.00	48.4359±0.22
		2	0.240	0.241	0.241	0.241		
		3	0.242	0.242	0.245	0.243		
	6	1	0.320	0.320	0.319	0.320	0.319±0.00	63.2433±0.62
		2	0.315	0.316	0.315	0.315		
		3	0.319	0.321	0.322	0.321		
	8	1	0.261	0.268	0.261	0.263	0.262±0.00	52.4103±0.11
		2	0.262	0.262	0.263	0.262		
		3	0.262	0.261	0.262	0.262		
	10	1	0.167	0.166	0.167	0.167	0.166±0.00	34.0128±0.29
		2	0.168	0.166	0.161	0.165		
		3	0.168	0.168	0.167	0.168		
	12	1	0.189	0.184	0.184	0.186	0.183±0.00	37.1539±0.51
		2	0.183	0.183	0.181	0.182		
		3	0.179	0.181	0.183	0.181		
	14	1	0.120	0.125	0.121	0.122	0.131±0.01	27.0897±1.55
		2	0.140	0.141	0.133	0.138		
		3	0.133	0.129	0.134	0.132		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-4 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง	ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย		
Scenedesmus sp. M12	0	1	0.111	0.114	0.116	0.114	0.119±0.01	24.8462±1.07
		2	0.124	0.125	0.125	0.125		
		3	0.120	0.115	0.120	0.118		
	2	1	0.178	0.177	0.181	0.179	0.176±0.00	35.8718±0.73
		2	0.175	0.169	0.172	0.172		
		3	0.178	0.179	0.178	0.178		
	4	1	0.217	0.216	0.226	0.220	0.215±0.00	43.3718±0.78
		2	0.214	0.210	0.216	0.213		
		3	0.209	0.215	0.215	0.213		
	6	1	0.205	0.205	0.205	0.205	0.204±0.00	41.1923±0.19
		2	0.201	0.205	0.205	0.204		
		3	0.205	0.202	0.203	0.203		
	8	1	0.324	0.320	0.321	0.322	0.327±0.01	64.9103±1.06
		2	0.330	0.325	0.335	0.327		
		3	0.333	0.335	0.330	0.333		
	10	1	0.210	0.210	0.210	0.210	0.214±0.00	43.1154±0.88
		2	0.221	0.220	0.215	0.219		
		3	0.215	0.212	0.212	0.213		
	12	1	0.145	0.139	0.141	0.142	0.144±0.00	29.5897±0.29
		2	0.146	0.141	0.145	0.144		
		3	0.145	0.145	0.146	0.145		
	14	1	0.059	0.057	0.061	0.059	0.060±0.00	13.4359±0.40
		2	0.057	0.060	0.056	0.058		
		3	0.062	0.064	0.060	0.062		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-4 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง	ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย		
Scenedesmus sp. M14	0	1	0.120	0.119	0.119	0.119	0.120±0.00	25.1026±0.22
		2	0.120	0.122	0.120	0.121		
		3	0.122	0.120	0.122	0.121		
	2	1	0.164	0.161	0.154	0.160	0.173±0.02	35.2949±3.64
		2	0.164	0.165	0.165	0.165		
		3	0.200	0.195	0.191	0.195		
	4	1	0.252	0.253	0.252	0.252	0.250±0.01	50.0385±1.02
		2	0.246	0.243	0.243	0.244		
		3	0.254	0.255	0.252	0.254		
	6	1	0.346	0.347	0.345	0.346	0.343±0.01	67.9230±1.00
		2	0.340	0.336	0.336	0.337		
		3	0.346	0.346	0.346	0.346		
	8	1	0.205	0.203	0.202	0.203	0.201±0.00	40.6154±0.38
		2	0.201	0.201	0.201	0.201		
		3	0.199	0.199	0.199	0.199		
	10	1	0.159	0.159	0.160	0.159	0.160±0.00	32.7949±0.22
		2	0.161	0.161	0.160	0.161		
		3	0.163	0.160	0.160	0.161		
	12	1	0.148	0.149	0.148	0.148	0.145±0.00	29.8462±0.51
		2	0.145	0.145	0.141	0.144		
		3	0.145	0.144	0.140	0.143		
	14	1	0.118	0.119	0.118	0.118	0.117±0.00	24.3974±0.44
		2	0.115	0.113	0.113	0.114		
		3	0.119	0.117	0.117	0.118		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-4 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง	ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย		
Chlorococcum sp. AB1	0	1	0.104	0.102	0.104	0.103	0.104±0.00	21.8333±0.29
		2	0.103	0.102	0.102	0.102		
		3	0.105	0.105	0.105	0.105		
	2	1	0.110	0.114	0.114	0.113	0.113±0.00	23.8205±0.22
		2	0.112	0.112	0.114	0.113		
		3	0.114	0.114	0.116	0.115		
	4	1	0.122	0.119	0.122	0.121	0.122±0.00	25.42301±0.19
		2	0.123	0.123	0.122	0.123		
		3	0.123	0.122	0.121	0.122		
	6	1	0.140	0.145	0.140	0.142	0.154±0.01	31.5769±2.14
		2	0.159	0.153	0.155	0.156		
		3	0.165	0.165	0.161	0.164		
	8	1	0.272	0.271	0.271	0.271	0.282±0.02	56.1282±3.39
		2	0.300	0.307	0.301	0.302		
		3	0.273	0.275	0.270	0.272		
	10	1	0.554	0.552	0.552	0.553	0.546±0.01	106.9357±0.97
		2	0.541	0.545	0.545	0.544		
		3	0.541	0.544	0.541	0.542		
	12	1	0.321	0.321	0.331	0.324	0.320±0.00	63.5000±0.77
		2	0.319	0.317	0.312	0.316		
		3	0.319	0.320	0.320	0.320		
	14	1	0.195	0.195	0.198	0.196	0.194±0.00	39.3974±0.62
		2	0.194	0.190	0.188	0.191		
		3	0.196	0.197	0.197	0.197		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-5 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร ของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย	
Chlorococcum sp. AB1	0	1	0.026	0.027	0.026	0.026	0.023±0.00
		2	0.018	0.018	0.018	0.018	
		3	0.024	0.024	0.025	0.024	
	2	1	0.113	0.122	0.117	0.117	0.119±0.00
		2	0.116	0.118	0.119	0.118	
		3	0.122	0.122	0.120	0.121	
	4	1	0.249	0.209	0.196	0.218	0.235±0.03
		2	0.215	0.229	0.209	0.218	
		3	0.262	0.272	0.272	0.223	
	6	1	0.399	0.400	0.400	0.400	0.400±0.00
		2	0.397	0.400	0.400	0.399	
		3	0.400	0.400	0.400	0.400	
	8	1	0.674	0.590	0.650	0.638	0.581±0.06
		2	0.574	0.577	0.582	0.578	
		3	0.516	0.552	0.516	0.528	
	10	1	0.638	0.639	0.637	0.638	0.638±0.00
		2	0.639	0.639	0.637	0.638	
		3	0.637	0.638	0.639	0.638	
	12	1	0.607	0.608	0.607	0.607	0.607±0.00
		2	0.606	0.607	0.606	0.606	
		3	0.609	0.606	0.609	0.608	
	14	1	0.496	0.498	0.499	0.498	0.499±0.00
		2	0.500	0.502	0.502	0.501	
		3	0.499	0.498	0.498	0.498	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-5 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย	
Chlorella sp. A	0	1	0.037	0.031	0.034	0.034	0.036±0.00
		2	0.048	0.035	0.031	0.038	
		3	0.038	0.038	0.032	0.036	
	2	1	0.180	0.180	0.179	0.180	0.174±0.00
		2	0.173	0.173	0.174	0.173	
		3	0.171	0.168	0.171	0.170	
	4	1	0.268	0.274	0.325	0.289	0.289±0.01
		2	0.282	0.279	0.279	0.280	
		3	0.300	0.300	0.298	0.299	
	6	1	0.410	0.410	0.410	0.410	0.406±0.00
		2	0.407	0.407	0.407	0.407	
		3	0.408	0.410	0.408	0.409	
	8	1	0.965	0.964	0.965	0.965	0.974±0.01
		2	0.964	0.970	0.987	0.974	
		3	0.960	1.000	0.988	0.983	
	10	1	0.848	0.849	0.849	0.849	0.847±0.00
		2	0.848	0.847	0.852	0.849	
		3	0.844	0.845	0.844	0.844	
	12	1	0.807	0.808	0.808	0.808	0.807±0.00
		2	0.807	0.807	0.808	0.807	
		3	0.807	0.806	0.806	0.806	
	14	1	0.765	0.766	0.765	0.765	0.766±0.00
		2	0.766	0.767	0.766	0.766	
		3	0.768	0.767	0.765	0.767	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-5 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย	
Chlorella sp. G	0	1	0.013	0.014	0.013	0.013	0.017±0.00
		2	0.022	0.020	0.020	0.020	
		3	0.014	0.018	0.018	0.017	
	2	1	0.101	0.101	0.094	0.099	0.086±0.01
		2	0.080	0.078	0.078	0.079	
		3	0.081	0.081	0.081	0.081	
	4	1	0.330	0.329	0.326	0.328	0.322±0.01
		2	0.319	0.327	0.315	0.320	
		3	0.318	0.318	0.319	0.318	
	6	1	0.350	0.350	0.349	0.350	0.349±0.00
		2	0.348	0.348	0.348	0.348	
		3	0.349	0.349	0.349	0.349	
	8	1	0.663	0.633	0.629	0.642	0.615±0.03
		2	0.614	0.617	0.618	0.616	
		3	0.597	0.560	0.605	0.587	
	10	1	0.901	0.898	0.898	0.899	0.898±0.00
		2	0.896	0.896	0.898	0.897	
		3	0.901	0.900	0.898	0.900	
	12	1	0.944	0.945	0.948	0.946	0.947±0.00
		2	0.945	0.946	0.947	0.946	
		3	0.951	0.950	0.949	0.950	
	14	1	0.894	0.895	0.895	0.895	0.896±0.00
		2	0.896	0.898	0.898	0.897	
		3	0.895	0.896	0.898	0.896	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-6 น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง

สายพันธุ์	วัน	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง
		1	2	3	
Chlorococcum sp. AB1	0	0.00	0.10	0.10	0.07±0.06
	2	0.60	0.30	0.30	040±0.17
	4	0.80	0.60	0.40	0.60±0.20
	6	0.90	0.70	0.80	0.80±0.10
	8	1.00	1.10	1.10	1.07±0.06
	10	1.30	1.30	1.30	1.30±0.00
	12	1.50	1.60	1.50	1.53±0.06
	14	1.50	1.50	1.52	1.51±0.01
Chlorella sp. A	0	0.10	0	0.20	0.10±0.10
	2	0.20	0.20	0.30	0.23±0.06
	4	0.40	0.40	0.50	0.43±0.06
	6	0.70	0.80	0.60	0.70±0.10
	8	1.00	0.90	0.90	0.93±0.06
	10	1.20	1.30	1.20	1.23±0.06
	12	1.30	1.40	1.30	1.33±0.06
	14	1.30	1.32	1.34	1.32±0.02
Chlorella sp. G	0	0.10	0.10	0	0.07±0.06
	2	0.10	0.30	0.20	0.20±0.10
	4	0.50	0.40	0.50	0.47±0.06
	6	0.60	0.60	0.60	0.60±0.00
	8	0.80	0.80	1.00	0.87±0.12
	10	1.00	1.20	1.20	1.13±0.12
	12	1.30	1.50	1.40	1.40±0.10
	14	1.32	1.24	1.24	1.27±0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-7 จำนวนเซลล์สาหร่ายของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง

สายพันธุ์	วัน	ชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์สาหร่าย (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)			ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์ ($x10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)
			1	2	เฉลี่ย		
Chlorococcum sp. AB1	0	1	0	1	1	1.0±0.5	0.02±0.01
		2	0	0	0		
		3	0	2	1		
	2	1	2	2	2	1.0±0.58	0.04±0.01
		2	1	1	1		
		3	1	1	1		
	4	1	4	3	3	3.0±0.58	0.07±0.01
		2	3	2	3		
		3	3	2	3		
	6	1	8	8	8	8.0±0.58	0.19±0.01
		2	8	8	8		
		3	7	7	7		
	8	1	13	13	13	13±0.5	0.32±0.01
		2	14	13	13		
		3	12	13	13		
	10	1	13	14	14	15.0±0.87	0.36±0.02
		2	15	15	15		
		3	14	16	15		
	12	1	14	15	15	15.0±0.50	0.37±0.01
		2	15	15	15		
		3	14	14	14		
	14	1	13	14	14	14.0±0.50	0.35±0.01
		2	14	14	14		
		3	14	15	15		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-7 (ต่อ)

สายพันธุ์	วัน	ชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์สาหร่าย (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)			ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์ ($x10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)
			1	2	เฉลี่ย		
Chlorella sp. A	0	1	4	5	5	6.0±2.65	0.14±0.07
		2	7	10	9		
		3	3	4	4		
	2	1	25	27	26	31.0±4.54	0.77±0.11
		2	30	33	32		
		3	34	36	35		
	4	1	60	72	66	79.0±13.50	1.98±0.34
		2	108	78	93		
		3	92	66	79		
	6	1	186	172	179	184.0±4.36	4.60±0.11
		2	190	182	186		
		3	188	186	187		
	8	1	178	176	177	179.0±5.29	4.48±0.13
		2	178	172	175		
		3	190	180	185		
	10	1	188	184	186	185.0±1.73	4.63±0.04
		2	186	186	186		
		3	186	180	183		
	12	1	178	180	179	180.0±2.31	4.51±0.06
		2	180	178	179		
		3	184	182	183		
	14	1	160	162	161	162.0±1.53	4.06±0.04
		2	162	162	162		
		3	166	162	164		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-7 (ต่อ)

สายพันธุ์	วัน	ชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์สาหร่าย (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)			ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง	จำนวนเซลล์ ($x10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)
			1	2	เฉลี่ย		
Chlorella sp. G	0	1	2	2	2	2.0±0.00	0.05±0.01
		2	2	2	2		
		3	2	2	2		
	2	1	15	17	16	15.0±1.26	0.36±0.03
		2	13	16	15		
		3	13	14	13		
	4	1	42	47	45	42.0±2.60	1.04±0.06
		2	39	41	40		
		3	41	39	40		
	6	1	61	62	61	63.0±3.40	1.57±0.09
		2	66	67	67		
		3	58	62	60		
	8	1	85	88	86	86.0±0.58	2.15±0.02
		2	86	87	87		
		3	86	85	85		
	10	1	120	116	118	118.0±2.52	2.94±0.06
		2	106	124	115		
		3	120	120	120		
	12	1	180	180	180	184.0±4.04	4.59±0.10
		2	184	182	183		
		3	186	190	188		
	14	1	176	174	175	169.0±5.20	4.23±0.13
		2	174	158	166		
		3	180	152	166		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-8 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร ของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง ในการวิเคราะห์ปริมาณพอลิแซคคาไรด์เบื้องต้น ด้วยวิธีฟีนอลซัลฟิวริก

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง	ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย		
Chlorococcum sp. AB1	0	1	0.112	0.117	0.112	0.114	0.114±0.00	23.8846±0.38
		2	0.115	0.110	0.110	0.112		
		3	0.120	0.115	0.112	0.116		
	2	1	0.124	0.127	0.124	0.125	0.124±0.00	25.8718±0.22
		2	0.123	0.122	0.125	0.123		
		3	0.128	0.124	0.122	0.125		
	4	1	0.138	0.146	0.146	0.143	0.141±0.00	28.9487±0.48
		2	0.139	0.138	0.138	0.138		
		3	0.140	0.144	0.137	0.140		
	6	1	0.292	0.302	0.292	0.295	0.285±0.02	56.8333±3.73
		2	0.250	0.259	0.279	0.263		
		3	0.291	0.310	0.292	0.298		
	8	1	0.560	0.548	0.550	0.553	0.553±0.01	108.3077±2.30
		2	0.540	0.539	0.545	0.541		
		3	0.570	0.560	0.565	0.565		
	10	1	0.359	0.333	0.334	0.342	0.354±0.02	69.9744±3.09
		2	0.317	0.378	0.347	0.347		
		3	0.371	0.372	0.372	0.372		
	12	1	0.210	0.199	0.198	0.202	0.198±0.00	39.9744±0.78
		2	0.195	0.197	0.191	0.194		
		3	0.200	0.195	0.195	0.197		
	14	1	0.151	0.150	0.150	0.150	0.156±0.01	31.9615±1.07
		2	0.161	0.159	0.151	0.157		
		3	0.154	0.157	0.172	0.161		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-8 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง	ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย		
Chlorella sp. A	0	1	0.128	0.127	0.127	0.127	0.128±0.00	26.5128±0.11
		2	0.130	0.129	0.124	0.128		
		3	0.121	0.135	0.128	0.128		
	2	1	0.138	0.146	0.149	0.144	0.148±0.00	30.3590±0.62
		2	0.149	0.149	0.149	0.149		
		3	0.150	0.150	0.151	0.150		
	4	1	0.256	0.258	0.256	0.257	0.256±0.00	51.2564±0.11
		2	0.255	0.257	0.257	0.256		
		3	0.255	0.258	0.256	0.256		
	6	1	0.619	0.615	0.621	0.618	0.594±0.02	116.0640±4.11
		2	0.587	0.580	0.580	0.582		
		3	0.580	0.581	0.581	0.581		
	8	1	0.331	0.336	0.336	0.334	0.333±0.00	66.0641±0.59
		2	0.330	0.330	0.330	0.330		
		3	0.335	0.335	0.337	0.336		
	10	1	0.217	0.310	0.211	0.246	0.229±0.02	45.8718±2.94
		2	0.223	0.218	0.217	0.219		
		3	0.211	0.219	0.231	0.220		
	12	1	0.170	0.164	0.173	0.169	0.147±0.02	30.2308±4.78
		2	0.123	0.122	0.115	0.120		
		3	0.123	0.156	0.178	0.152		
	14	1	0.113	0.115	0.120	0.116	0.115±0.00	24.0769±0.33
		2	0.110	0.115	0.115	0.113		
		3	0.118	0.112	0.118	0.116		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-8 (ต่อ)

สายพันธุ์สาหร่าย	วัน	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร				ค่าเฉลี่ยของชุดการทดลอง	ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย		
Chlorella sp. G	0	1	0.176	0.156	0.156	0.163	0.157±0.01	32.2180±1.06
		2	0.138	0.168	0.150	0.152		
		3	0.163	0.143	0.166	0.157		
	2	1	0.198	0.197	0.182	0.192	0.181±0.01	36.7692±2.12
		2	0.188	0.198	0.158	0.181		
		3	0.150	0.161	0.200	0.170		
	4	1	0.250	0.255	0.235	0.247	0.250±0.00	49.9744±0.59
		2	0.246	0.246	0.255	0.249		
		3	0.257	0.247	0.256	0.253		
	6	1	0.360	0.364	0.360	0.361	0.356±0.01	70.4233±2.18
		2	0.368	0.358	0.366	0.364		
		3	0.340	0.349	0.341	0.343		
	8	1	0.323	0.299	0.309	0.310	0.299±0.02	59.3974±3.94
		2	0.321	0.312	0.300	0.311		
		3	0.200	0.315	0.310	0.275		
	10	1	0.220	0.210	0.215	0.215	0.216±0.00	43.4359±0.78
		2	0.221	0.219	0.220	0.220		
		3	0.215	0.220	0.200	0.212		
	12	1	0.161	0.159	0.149	0.156	0.148±0.01	30.2949±1.46
		2	0.139	0.154	0.140	0.144		
		3	0.144	0.140	0.142	0.142		
	14	1	0.115	0.110	0.120	0.115	0.122±0.01	25.4231±1.17
		2	0.129	0.128	0.120	0.126		
		3	0.121	0.131	0.122	0.125		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-9 ผลได้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในถัง

สายพันธุ์	ชุดการทดลอง	ผลได้น้ำหนักแห้ง (กรัมต่อ 4 ลิตร)				ค่าเฉลี่ยชุดการทดลอง	ร้อยละน้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร)
		1	2	3	เฉลี่ย		
Chlorococcum sp. AB1	1	2.9134	2.9091	2.9165	2.9130	2.9163±0.92	0.0729±0.23
	2	2.0810	1.9981	1.9176	1.9989		
	3	3.8206	3.5071	4.1833	3.8370		
Chlorella sp. A	1	2.4121	2.4041	2.4039	2.4067	2.4073±0.11	0.0602±0.03
	2	2.3010	2.2991	2.2984	2.2995		
	3	2.3997	2.5200	2.6274	2.5157		
Chlorella sp. G	1	1.9985	2.3771	2.7479	2.3745	2.3764±0.08	0.0594±0.13
	2	2.2887	2.3819	2.2219	2.2975		
	3	2.4413	2.6517	2.2786	2.4572		

ตารางที่ ค-10 ผลได้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งสารสกัดพอลิแซคคาไรด์ของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ที่สกัดด้วยน้ำและเอทานอล

สายพันธุ์	สารสกัด	ชุดการทดลอง	น้ำหนักขวดสารสกัด (กรัม)			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละสารสกัด (w/w%)
			ก่อน	หลัง	ผลต่าง		
Chlorococcum sp. AB1	น้ำ	1	30.0393	30.3194	0.2801	0.2918±0.02	29.18±1.65
		2	30.0149	30.3184	0.3035		
	เอทานอล	1	29.6373	29.8394	0.2021	0.1482±0.08	14.82±7.62
		2	31.8803	31.9746	0.0943		
Chlorella sp. A	น้ำ	1	32.2479	32.4468	0.1989	0.2639±0.09	26.39±9.19
		2	31.8540	32.1829	0.3289		
	เอทานอล	1	31.0571	31.2082	0.1511	0.1203±0.04	12.03±4.36
		2	30.9364	31.0259	0.0895		
Chlorella sp. G	น้ำ	1	30.5626	30.7696	0.2070	0.2347±0.04	23.47±3.92
		2	30.2725	30.5349	0.2624		
	เอทานอล	1	32.4688	32.5705	0.1017	0.1207±0.03	12.07±2.69
		2	32.3465	32.4862	0.1397		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-11 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 530 นาโนเมตร ในการวิเคราะห์ปริมาณกรดไฮยาลูโรนิคเบื้องต้นในรูปกรดยูโรนิค ด้วยวิธีคาร์บาโซล ของสารสกัดสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์

สายพันธุ์	สารสกัด	ค่าการเจือจาง (เท่า)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 530 นาโนเมตร			ค่าเฉลี่ย	ปริมาณกรดไฮยาลูโรนิค (ไมโครกรัมกรดยูโรนิคต่อมิลลิกรัม)
			1	2	3		
Chlorococcum sp. AB1	น้ำ	100	0.074	0.077	0.079	0.077±0.00	0.87±0.03
	เอทานอล	100	0.204	0.209	0.207	0.207±0.00	2.35±0.03
Chlorella sp. A	น้ำ	10	0.650	0.675	0.653	0.659±0.01	0.75±0.02
	เอทานอล	-	-	-	-	-	-
Chlorella sp. G	น้ำ	100	0.044	0.047	0.052	0.048±0.00	0.54±0.05
	เอทานอล	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ ค-12 ผลได้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักฟลาสก์ก้นกลม ในการวิเคราะห์ปริมาณไขมันทั้งหมดของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์

สายพันธุ์	ชุดการทดลอง	น้ำหนักฟลาสก์ก้นกลม (กรัม)			ค่าเฉลี่ย	ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)
		ก่อน	หลัง	ผลต่าง		
Chlorococcum sp. AB1	1	103.4142	103.4198	0.0056	0.0096±0.01	0.95±0.56
	2	103.6032	103.6168	0.0136		
Chlorella sp. A	1	102.8519	102.8549	0.0030	0.0036±0.00	0.36±0.08
	2	103.8543	103.8585	0.0042		
Chlorella sp. G	1	109.1559	109.1610	0.0051	0.0037±0.00	0.37±0.20
	2	104.1624	104.1647	0.0023		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-13 ผลได้ค่าเฉลี่ยปริมาตรกรดซัลฟิวริกที่ไทเทรต ในการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนทั้งหมดของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์

สายพันธุ์	ชุดการทดลอง	ปริมาตรกรดซัลฟิวริกที่ไทเทรต (มิลลิลิตร)			ค่าเฉลี่ย	ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)
		เริ่ม	จุดยุติ	ผลต่าง		
Chlorococcum sp. AB1	1	2.0	15.7	13.7	13.8±0.00	11.7±0.13
	2	15.7	29.6	13.9		
Chlorella sp. A	1	0.0	29.5	29.5	29.7±0.00	25.5±0.25
	2	0.0	29.9	29.9		
Chlorella sp. G	1	0.0	46.8	46.8	46.7±0.00	40.3±0.12
	2	0.0	46.6	46.6		

ตารางที่ ค-14 ผลได้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักภาชนะอลูมิเนียม ในการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นทั้งหมดของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์

สายพันธุ์	ชุดการทดลอง	น้ำหนักภาชนะอลูมิเนียม (กรัม)			ค่าเฉลี่ย	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)
		ก่อน	หลัง	ผลต่าง		
Chlorococcum sp. AB1	1	15.4601	15.3993	0.0608	0.0604±0.00	6.0±0.07
	2	15.3989	15.3389	0.0600		
Chlorella sp. A	1	15.2213	15.1642	0.0571	0.0596±0.00	5.7±0.35
	2	15.1667	15.1046	0.0621		
Chlorella sp. G	1	15.3976	15.3075	0.0901	0.0854±0.01	8.5±0.64
	2	15.3028	15.2221	0.0807		

ตารางที่ ค-15 ผลได้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักถ้วยกระเบื้องเคลือบ ในการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าทั้งหมดของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์

สายพันธุ์	ชุดการทดลอง	น้ำหนักถ้วยกระเบื้องเคลือบ (กรัม)			ค่าเฉลี่ย	ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)
		ก่อน	หลัง	ผลต่าง		
Chlorococcum sp. AB1	1	23.3051	23.3817	0.0766	0.0768±0.00	10.98±0.04
	2	23.4812	23.5582	0.0770		
Chlorella sp. A	1	24.3057	24.3989	0.0932	0.0929±0.00	13.59±0.06
	2	24.4015	24.4941	0.0926		
Chlorella sp. G	1	27.5119	27.5927	0.0808	0.0801±0.00	12.62±0.16
	2	23.3087	23.3881	0.0794		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-16 ผลได้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์

สายพันธุ์	ผลได้ 100 - (ร้อยละความชื้น+ร้อยละเถ้า+ร้อยละไขมัน+ร้อยละโปรตีน)		ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)
	1	2	
Chlorococcum sp. AB1	70.70	69.80	70.4±0.64
Chlorella sp. A	54.35	55.20	54.9±0.60
Chlorella sp. G	37.40	39.00	38.2±1.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-16 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร ในการวิเคราะห์การทดสอบคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (DPPH)

สารสกัด	สายพันธุ์	ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร						การออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (%)
				A_0	ค่าเฉลี่ย	A	ค่าเฉลี่ย	A_b	ค่าเฉลี่ย	
เอทานอล	*Chlorococcum* sp. AB1	1000	1	1.831	1.837	3.870	3.877	2.781	2.784	40.5±0.05
			2	1.833		3.867		2.777		
			3	1.847		3.894		2.794		
		500	1	1.850	1.851	3.497	3.495	2.339	2.351	38.2±0.68
			2	1.855		3.489		2.351		
			3	1.848		3.499		2.363		
น้ำ	*Chlorococcum* sp. AB1	1000	1	1.871	1.872	1.906	1.916	0.834	0.830	42.0±1.26
			2	1.870		1.911		0.840		
			3	1.875		1.931		0.816		
		500	1	1.851	1.850	1.679	1.677	0.540	0.537	38.4±0.52
			2	1.848		1.668		0.538		
			3	1.851		1.684		0.533		

หมายเหตุ A คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดสาหร่าย + DPPH

A_0 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH

A_b คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดสาหร่าย

ตารางที่ ค-16 (ต่อ)

สารสกัด	สายพันธุ์	ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)	ชุดการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร						การออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (%)
				A_0	ค่าเฉลี่ย	A	ค่าเฉลี่ย	A_b	ค่าเฉลี่ย	
น้ำ	*Chlorella* sp. A	1000	1	1.829	1.830	1.850	1.801	0.685	0.687	39.1±0.76
			2	1.835		1.701		0.690		
			3	1.826		1.807		0.686		
		500	1	1.827	1.835	1.657	1.654	0.449	0.459	34.9±1.67
			2	1.830		1.659		0.450		
			3	1.848		1.646		0.478		

หมายเหตุ A คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดสาหร่าย + DPPH

A_0 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH

A_b คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดสาหร่าย

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางที่ ง-1 ค่าทางสถิติเปรียบเทียบผลได้ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ของสาหร่ายขนาดเล็ก 15 สายพันธุ์ ในระดับฟลาสก์

สายพันธุ์	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Chlamydomonas sp. B1-59	3	62.73100	2.167191	1.251228	57.34740	68.11460	60.231	64.077
Chlorella sp. B2-59	3	62.09000	.110851	.064000	61.81463	62.36537	61.962	62.154
Chlorella sp. A	3	109.39733	.618334	.356995	107.86131	110.93336	108.692	109.846
Chlorella sp.B	3	62.34633	3.003745	1.734213	54.88462	69.80805	58.885	64.269
Chlorella sp. G	3	69.33333	.777031	.448619	67.40308	71.26359	68.500	70.038
Chlorella sp. KP55	3	66.57700	.693237	.400240	64.85490	68.29910	66.000	67.346
Chlorella sp. V55	3	64.52567	.483653	.279237	63.32421	65.72713	64.077	65.038
Chlorella sp. 5	3	62.41000	.110851	.064000	62.13463	62.68537	62.346	62.538
Scenedesmus sp. N-59	3	61.38467	.192500	.111140	60.90647	61.86286	61.192	61.577
Scenedesmus sp. C	3	108.17933	.400801	.231402	107.18369	109.17498	107.730	108.500
Scenedesmus sp. F9	3	67.28067	.109715	.063344	67.00812	67.55321	67.154	67.346
Scenedesmus sp. F14	3	63.24333	.618334	.356995	61.70731	64.77936	62.538	63.692

ตารางที่ ง-1 (ต่อ)

สายพันธุ์	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Scenedesmus sp. M12	3	64.91033	1.058967	.611395	62.27971	67.54095	63.885	66.000
Scenedesmus sp. M14	3	67.92300	.999393	.577000	65.44037	70.40563	66.769	68.500
Chlorococcum sp. AB1	3	106.93567	.973864	.562260	104.51646	109.35488	106.192	108.038
Total	45	73.28451	17.817606	2.656092	67.93151	78.63751	58.885	109.846

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	13930.342	14	995.024	781.225	.000
Within Groups	38.210	30	1.274		
Total	13968.552	44			

ตารางที่ ง-1 (ต่อ)

Duncan[a]									
สายพันธุ์	N	Subset for alpha = 0.05							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Chlamydomonas sp. B1-59	3	61.38467							
Chlorella sp. B2-59	3	62.09000							
Chlorella sp. A	3	62.34633							
Chlorella sp.B	3	62.41000							
Chlorella sp. G	3	62.73100	62.73100						
Chlorella sp. KP55	3	63.24333	63.24333	63.24333					
Chlorella sp. V55	3		64.52567	64.52567					
Chlorella sp. 5	3			64.91033	64.91033				
Scenedesmus sp. N-59	3				66.57700	66.57700			
Scenedesmus sp. C	3					67.28067			
Scenedesmus sp. F9	3					67.92300	67.92300		
Scenedesmus sp. F14	3						69.33333		
Scenedesmus sp. M12	3							106.93567	
Scenedesmus sp. M14	3							108.17933	108.17933
Chlorococcum sp. AB1	3								109.39733

ตารางที่ ง-1 (ต่อ)

Duncan[a]								
sample	N	Subset for alpha = 0.05						
		1	2	3	4	5	6	7	8
Sig.		.084	.074	.097	.081	.178	.136	.187	.196
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.								
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.								

ตารางที่ ง-2 ค่าทางสถิติเปรียบเทียบผลได้ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง

สายพันธุ์	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Chlorococcum sp. AB1	3	108.30767	2.307500	1.332236	102.57552	114.03981	106.000	110.615
Chlorella sp. A	3	116.06400	4.108425	2.372000	105.85811	126.26989	113.692	120.808
Chlorella sp. G	3	70.42333	2.184487	1.261214	64.99677	75.84990	67.923	71.962
Total	9	98.26500	21.308464	7.102821	81.88586	114.64414	67.923	120.808

ตารางที่ ง-2 (ต่อ)

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3578.454	2	1789.227	198.982	.000
Within Groups	53.951	6	8.992		
Total	3632.405	8			

Duncan[a]				
สายพันธุ์	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Chlorella G	3	70.42333		
Chlorococcum AB1	3		108.30767	
Chlorella A	3			116.06400
Sig.		1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.				
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.				

ตารางที่ ง-3 ค่าทางสถิติเปรียบเทียบผลได้ร้อยละน้ำหนักแห้งโดยมวลของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง

สายพันธุ์	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Chlorococcum sp. AB1	3	.729100	.2298010	.1326757	.158243	1.299957	.4997	.9593
Chlorella sp. A	3	.601833	.0270002	.0155886	.534761	.668906	.5749	.6289
Chlorella sp. G	3	.594100	.0199547	.0115209	.544530	.643670	.5744	.6143
Total	9	.641678	.1333946	.0444649	.539142	.744214	.4997	.9593

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.034	2	.017	.959	.435
Within Groups	.108	6	.018		
Total	.142	8			

ตารางที่ ง-3 (ต่อ)

Duncan[a]		
สายพันธุ์	N	Subset for alpha = 0.05
		1
Chlorella G	3	.594100
Chlorella A	3	.601833
Chlorococcum AB1	3	.729100
Sig.		.278
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.		
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.		

ตารางที่ ง-4 ค่าทางสถิติเปรียบเทียบผลได้ร้อยละของสารสกัดหยาบด้วยน้ำและเอทานอลของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง

สายพันธุ์ และชนิดสารสกัด	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Chlorococcum AB1 H	2	29.1800	1.65463	1.17000	14.3137	44.0463	28.01	30.35
Chlorococcum AB1 E	2	14.8200	7.62261	5.39000	-53.6664	83.3064	9.43	20.21
Chlorella sp. A H	2	26.3900	9.19239	6.50000	-56.2003	108.9803	19.89	32.89
Chlorella sp. A E	2	12.0300	4.35578	3.08000	-27.1051	51.1651	8.95	15.11

ตารางที่ ง-4 (ต่อ)

Chlorella sp.G H	2	23.4700	3.91737	2.77000	-11.7262	58.6662	20.70	26.24
Chlorella sp. G E	2	12.0700	2.68701	1.90000	-12.0718	36.2118	10.17	13.97
Total	12	19.6600	8.34626	2.40936	14.3570	24.9630	8.95	32.89

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	579.380	5	115.876	3.720	.070
Within Groups	186.881	6	31.147		
Total	766.261	11			

Duncan[a]			
สายพันธุ์ และชนิดสารสกัด	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Chlorella sp. A E	2	12.0300	
Chlorella sp. G E	2	12.0700	
Chlorococcum sp. AB1 E	2	14.8200	14.8200
Chlorella sp. G H	2	23.4700	23.4700

ตารางที่ ง-4 (ต่อ)

Chlorella sp. A H	2	26.3900	26.3900
Chlorococcum sp. AB1 H	2		29.1800
Sig.		.052	.050
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.			
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.			

ตารางที่ ง-5 ค่าทางสถิติเปรียบเทียบร้อยละผลได้ปริมาณไฮยาลูโรนิค ของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง

สายพันธุ์ และชนิดสารสกัด	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Chlorococcum sp. AB1 H	3	.8733	.03055	.01764	.7974	.9492	.84	.90
Chlorococcum sp. AB1 E	3	2.3500	.03000	.01732	2.2755	2.4245	2.32	2.38
Chlorella sp. A H	3	.7500	.01732	.01000	.7070	.7930	.74	.77
Chlorella sp. G H	3	.5433	.04509	.02603	.4313	.6553	.50	.59
Total	12	1.1292	.74693	.21562	.6546	1.6037	.50	2.38

ตารางที่ ง-5 (ต่อ)

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6.129	3	2.043	1961.139	.000
Within Groups	.008	8	.001		
Total	6.137	11			

Duncan[a]					
สายพันธุ์ และชนิดสารสกัด	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
Chlorella sp. G H	3	.5433			
Chlorella sp. A H	3		.7500		
Chlorococcum sp. AB1 H	3			.8733	
Chlorococcum sp. AB1 E	3				2.3500
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.					

ตารางที่ ง-6 ค่าทางสถิติจากผลการวิเคราะห์การทดสอบคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (DPPH)

สายพันธุ์ และชนิดสารสกัด	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Chlorococcum AB1 E1000	3	40.4967	.04933	.02848	40.3741	40.6192	40.44	40.53
Chlorocuccum AB1 E500	3	38.1967	.68391	.39486	36.4977	39.8956	37.41	38.65
Chlorocuccum AB1 H1000	3	41.9867	1.26160	.72838	38.8527	45.1207	40.53	42.73
Chlorococcum AB1 H500	3	38.3800	.52086	.30072	37.0861	39.6739	37.82	38.85
Chlorella A H1000	3	39.1233	.76291	.44047	37.2282	41.0185	38.61	40.00
Chlorella A H500	3	34.8700	1.67162	.96511	30.7175	39.0225	33.88	36.80
Total	18	38.8422	2.41023	.56810	37.6436	40.0408	33.88	42.73

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	87.338	5	17.468	18.357	.000
Within Groups	11.419	12	.952		
Total	98.757	17			

ตารางที่ ง-6 (ต่อ)

Duncan[a]					
สายพันธุ์ และชนิดสารสกัด	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
Chlorella A H500	3	34.8700			
Chlorocuccum AB1 E500	3		38.1967		
Chlorococcum AB1 H500	3		38.3800		
Chlorella A H1000	3		39.1233	39.1233	
Chlorococcum AB1 E1000	3			40.4967	40.4967
Chlorocuccum AB1 H1000	3				41.9867
Sig.		1.000	.290	.110	.086
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.					

ตารางที่ ง-7 ค่าทางสถิติจากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีคาร์โบไฮเดรตของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง

สายพันธุ์	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Chlorococcum sp. AB1	2	70.2500	.63640	.45000	64.5322	75.9678	69.80	70.70
Chlorella sp. A	2	54.7750	.60104	.42500	49.3749	60.1751	54.35	55.20

ตารางที่ ง-7 (ต่อ)

Chlorella sp. G	2	38.2000	1.13137	.80000	28.0350	48.3650	37.40	39.00
Total	6	54.4083	14.35028	5.85848	39.3486	69.4680	37.40	70.70

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1027.606	2	513.803	753.285	.000
Within Groups	2.046	3	.682		
Total	1029.652	5			

Duncan[a]				
สายพันธุ์	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Chlorella sp. G	2	38.2000		
Chlorella sp. A	2		54.7750	
Chlorococcum sp. AB1	2			70.2500
Sig.		1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.				
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.				

ตารางที่ ง-8 ค่าทางสถิติจากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีไขมันของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง

สายพันธุ์	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Chlorococcum sp. AB1	2	.9550	.55861	.39500	-4.0640	5.9740	.56	1.35
Chlorella sp. A	2	.3600	.08485	.06000	-.4024	1.1224	.30	.42
Chlorella sp. G	2	.3700	.19799	.14000	-1.4089	2.1489	.23	.51
Total	6	.5617	.40563	.16560	.1360	.9874	.23	1.35

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.464	2	.232	1.943	.288
Within Groups	.358	3	.119		
Total	.823	5			

ตารางที่ ง-8 (ต่อ)

Duncan[a]		
sample	N	Subset for alpha = 0.05
		1
Chlorella sp. A	2	.3600
Chlorella sp. G	2	.3700
Chlorococcum sp. AB1	2	.9550
Sig.		.183
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.		
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.		

ตารางที่ ง-9 ค่าทางสถิติจากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีโปรตีนของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง

สายพันธุ์	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Chlorococcum sp. AB1	2	11.7500	.12728	.09000	10.6064	12.8936	11.66	11.84
Chlorella sp. A	2	25.5050	.24749	.17500	23.2814	27.7286	25.33	25.68
Chlorella sp. G	2	40.2750	.12021	.08500	39.1950	41.3550	40.19	40.36
Total	6	25.8433	12.76018	5.20932	12.4523	39.2343	11.66	40.36

ตารางที่ ง-9 (ต่อ)

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	814.019	2	407.010	13286.491	.000
Within Groups	.092	3	.031		
Total	814.111	5			

Duncan[a]				
สายพันธุ์	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Chlorococcum sp. AB1	2	11.7500		
Chlorella sp. A	2		25.5050	
Chlorella sp. G	2			40.2750
Sig.		1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.				
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.				

ตารางที่ ง-10 ค่าทางสถิติจากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีความชื้นของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง

สายพันธุ์	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Chlorococcum sp. AB1	2	6.0500	.07071	.05000	5.4147	6.6853	6.00	6.10
Chlorella sp. A	2	5.7500	.35355	.25000	2.5734	8.9266	5.50	6.00
Chlorella sp. G	2	8.5500	.63640	.45000	2.8322	14.2678	8.10	9.00
Total	6	6.7833	1.41339	.57701	5.3001	8.2666	5.50	9.00

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	9.453	2	4.727	26.505	.012
Within Groups	.535	3	.178		
Total	9.988	5			

ตารางที่ ง-10 (ต่อ)

Duncan[a]			
สายพันธุ์	**N**	**Subset for alpha = 0.05**	
		1	**2**
Chlorella sp. A	2	5.7500	
Chlorococcum sp. AB1	2	6.0500	
Chlorella sp. G	2		8.5500
Sig.		.529	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.			
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.			

ตารางที่ ง-11 ค่าทางสถิติจากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีเถ้าของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ในระดับถัง

สายพันธุ์	**N**	**Mean**	**Std. Deviation**	**Std. Error**	**95% Confidence Interval for Mean**		**Minimum**	**Maximum**
					Lower Bound	**Upper Bound**		
Chlorococcum sp. AB1	2	10.9800	.04243	.03000	10.5988	11.3612	10.95	11.01
Chlorella sp. A	2	13.5950	.06364	.04500	13.0232	14.1668	13.55	13.64
Chlorella sp. G	2	12.6200	.15556	.11000	11.2223	14.0177	12.51	12.73
Total	6	12.3983	1.18454	.48359	11.1552	13.6414	10.95	13.64

ตารางที่ ง-11 (ต่อ)

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6.986	2	3.493	348.700	.000
Within Groups	.030	3	.010		
Total	7.016	5			

Duncan[a]				
สายพันธุ์	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Chlorococcum sp. AB1	2	10.9800		
Chlorella sp. G	2		12.6200	
Chlorella sp. A	2			13.5950
Sig.		1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.				
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้